



UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial

***RAMS Aplicado a Sistemas Reparáveis -
- Extração de Oleaginosas***

Luís Manuel Lino Baptista

Licenciado em Engenharia Mecânica

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica,
apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de
Lisboa

Orientador: Professor Doutor José António Mendonça Dias

Lisboa, Maio de 2007

«Tememos as coisas na medida em que as ignoramos»

Tito Lívio, historiador romano, (séculos I a. C. – I d. C.)

À minha querida filha, Maria Indira

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, um bem-haja à minha família por todo o apoio que sempre me deu, em particular, durante a elaboração da dissertação. Sem a sua ajuda não teria sido possível vencer mais este desafio.

Devo também expressar a minha gratidão a todas as pessoas que me deram a sua colaboração, sem a qual não me teria sido possível levar a cabo este meu objectivo. Deste modo, cumpre-me deixar-lhes expresso o meu especial agradecimento:

ao Professor Doutor José Mendonça Dias, pela sua dedicada orientação, apoio científico e importantes sugestões e recomendações que me permitiram desenvolver com sucesso o tema escolhido;

ao Engenheiro António Maia Miranda, pelo interesse que revelou desde o início, permitindo uma total abertura no desenvolvimento da componente experimental do trabalho numa unidade industrial do grupo da Alco SA;

à Professora Doutora Celeste Jacinto, pela prestável e indispensável colaboração no desenvolvimento da temática da segurança ocupacional, também presente na dissertação;

ao Engenheiro Carlos Silvestre, pela sua proposta para a realização do mestrado nas condições em que se realizou e pelo espírito de colaboração que sempre me manifestou;

aos meus colegas da Tagol SA, em particular aos técnicos responsáveis pela manutenção e às direcções industriais (anterior e actual), pela sua pronta colaboração no desenvolvimento da componente experimental da dissertação. Agradeço, particularmente, a todos os que, com a sua partilha de conhecimentos enriqueceram este trabalho;

aos meus amigos Luís, Manuel, Filipa, Ângela e Ana Leonor pela sua especial ajuda e apoio.

Finalmente, resta-me deixar uma palavra de reconhecimento geral a todas as pessoas que, com o seu profissionalismo e disponibilidade, me ajudaram a concretizar este trabalho.

SUMÁRIO

Quando se aborda o tema da manutenção, muitas vezes a primeira ideia subjacente é a de que se trata de uma actividade que apenas acarreta custos, sem que dela resultem benefícios maiores para as instalações industriais. Tal facto deriva desta actividade estar natural e permanentemente associada a falhas. Daí a necessidade de se demonstrar que, através de uma aplicação rigorosa de metodologias modernas de manutenção, assentes em conceitos científicos, se podem acrescentar mais-valias na cadeia de valor de cada organização.

O principal objectivo do presente trabalho foi o desenvolvimento de um modelo apropriado de manutenção, assente no conceito *RAMS*, aplicado a sistemas reparáveis de extracção de oleaginosas.

A metodologia desenvolvida procura integrar os conceitos associados aos processos estocásticos pontuais com metodologias qualitativas de análise de falhas e efeitos e com as práticas de manutenção baseadas na fiabilidade. Os dados referentes à extracção de oleaginosas foram, inicialmente, codificados e tratados de forma a conseguir-se uma base de dados para cada subsistema, ordenada cronologicamente.

A análise da extracção de oleaginosas como sistema reparável, constituído hierarquicamente por subsistemas igualmente reparáveis incidiu, fundamentalmente, em três vertentes: a primeira, consubstanciada na avaliação global das falhas do sistema reparável, articulando a utilização dos conceitos dos processos estocásticos pontuais com a determinação dos respectivos tempos médios de reparação; tem como o objectivo encontrar os subsistemas mais críticos, em termos de disponibilidade; a segunda, permitiu encontrar uma política de manutenção preventiva adequada, através da identificação dos respectivos componentes críticos; estes foram, obtidos pela aplicação da Análise Modal de Falhas e Efeitos e da modelação estatística da ordem das falhas e respectivas durações; a terceira, através do desenvolvimento da análise de riscos associada às tarefas de manutenção, permitiu identificar melhorias possíveis de aplicar ao nível da segurança ocupacional.

A metodologia desenvolvida poderá ser eventualmente aplicada à totalidade dos subsistemas reparáveis da unidade em estudo, bem como a outras unidades industriais.

ABSTRACT

Whenever the subject of maintenance is approached, many times the first underlying idea is one about an activity that only results in causing costs, without greater benefits for the industry, deriving its activity to be permanently associated with the failures. Therefore, the necessity to demonstrate that through a rigorous modern application of maintenance methods, based on scientific concepts, it can add value in the succession of the organization itself.

The main objective of the present work was the development of an appropriate model for maintenance based in the RAMS concepts, of repairable systems of oleaginous extraction. The search for a methodical development to integrate the associated methods and to prompt random methods with quality concepts of analysing the practical effects on failures with that of maintenance based on reliability.

The referring data for the extraction of oleaginous products has been initially, codified and treated to be able to obtain a database for each subsystem, controlled chronologically. The analysis of the extraction of the oleaginous products, as a repairable system, consisting of creating a hierarchy of sources for repairable subsystems divided into three main points.

The first outlying source is the global evaluation of the failures of the repairable system, articulating the use of the concept of prompt random procedure that will determine the respective average time of repair, with the objective of finding the most critical subsystem in terms of availability. The second, allowing to find a preventive maintenance policy, through the identification of the respective critical components, obtained from the application Failure Mode and Effects Analysis and of statistical evaluation in order to determine the durations of the respective failures. Finally through the development of the risk factor analysis of maintenance tasks, possible improvements have been identified to apply to the occupational level of safety.

The developed methods could eventually be extended to all repairable subsystems of the unit in study, as well as can be applied to other industrial units.

SIMBOLOGIA

λ^*	Coeficiente do modelo de Crow
β^*	Coeficiente do modelo de Crow
C_f	Custo de substituição por falha do componente
C_p	Custo de tarefa de manutenção preventiva
$c^*(t_p)$	Custo óptimo de manutenção
$F(t)$	Função cumulativa de probabilidade ou função de mortalidade
$R(t)$	Função de fiabilidade ou sobrevivência
$g(t)$	Função manutibilidade
$h(.)$	Função de risco
$f(.)$	Função densidade de probabilidade
n_f	Número de falhas
$m(.)$	Número esperado de falhas acumuladas
θ	Parâmetro de escala da distribuição de Weibull
β	Parâmetro de forma da distribuição de Weibull
λ	Taxa de falhas constante de um Processo de Poisson Homogéneo
τ	Tempo de vida do sistema no momento da falha
t_p	Tempo dos componentes sem falhar
T_0	Tempo de duração do ensaio
z_0	Valor estatístico do teste de Laplace
T	Variável aleatória representando o tempo desde a última falha

ACRÓNIMOS

BIP	Processos Birth – Immigration
BPP	Processos de Poisson Ramificados
FMEA	Análise Modal de Falhas e Efeitos
FOM	Força de Mortalidade
FTA	Análise de Árvore de Falhas
HPP	Processo de Poisson Homogéneo
LRM	Modelos de Regressão Loglinear
MTBF	Tempo Médio Entre Falhas
MTMP	Tempo Médio de Manutenção Preventiva
MTTR	Tempo Técnico Médio de Reparação
NHPP	Processo de Poisson não Homogéneo
P Est	Processos Estocásticos
PHM	Modelos de Riscos Proporcionais
PT1	Posto de Transformação 1
RAMS	Fiabilidade, Disponibilidade, Manutibilidade e Segurança
RCM	Manutenção Centrada na Fiabilidade
RP	Processos Renovados
RPN	Número de Prioridade de Risco
RS	Sistema Reparável
SRP	Processos Renovados Sobrepostos
TAN	Número Total Ácido
TBN	Número Total Base
TTR	Tempo Técnico de Reparação
WAIT	Work Accidents Investigation Technique
WEIB	Distribuição de Weibull

ÍNDICE GERAL

CAPÍTULO I	1
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Âmbito da investigação.....	1
1.1.1 Pesquisa histórica dos conceitos de fiabilidade e RAMS.....	3
1.1.2 Estado da arte.....	5
1.2 Objectivos da dissertação.....	6
1.3 Estrutura da dissertação.....	8
 CAPÍTULO II	 10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 Introdução.....	10
2.2 Estatística das falhas.....	11
2.2.1 Análise dos tempos de falha.....	12
2.2.1.1 Informação censurada.....	12
2.2.1.2 Variável métrica.....	13
2.2.1.3 Análise estatística das falhas.....	13
2.3 Sistemas reparáveis.....	16
2.3.1 Taxa de falhas.....	16
2.3.1.1 Teste de tendência de dados.....	17
2.3.2 Processos estocásticos pontuais: Processos de Poisson.....	18
2.3.2.1 Modelos tipo I.....	19
2.3.2.1.1 Processos de Poisson Homogéneos (HPP).....	19
2.3.2.1.2 Processos de Poisson Não Homogéneos (NHPP).....	21
2.3.2.1.2.1 Modelo de Crow.....	23
2.3.2.2 Modelos tipo II.....	25
2.4 Análise RAMS.....	25
2.4.1 Factores RAMS.....	26
2.4.1.1 Definição de Fiabilidade.....	27
2.4.1.2 Definição de Manutibilidade.....	29
2.4.1.3 Definição de Disponibilidade.....	33
2.4.1.4 Definição de Segurança.....	34
2.4.1.4.1 Modelo dos acidentes organizacionais.....	34

2.4.1.4.2	<i>Influência do stresse no desempenho humano.....</i>	37
2.4.1.4.3	<i>Erro humano.....</i>	39
2.4.1.4.4	<i>Segurança nas tarefas de manutenção.....</i>	43
2.4.2	<i>Métrica RAMS.....</i>	45
2.4.2.1	<i>Hierarquização do sistema reparável em subsistemas reparáveis.....</i>	46
2.4.2.2	<i>Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA).....</i>	46
2.4.2.3	<i>Planeamento da manutenção centrada na fiabilidade.....</i>	48
2.4.2.3.1	<i>Manutenção reactiva.....</i>	49
2.4.2.3.2	<i>Manutenção preventiva.....</i>	50
2.4.2.3.3	<i>Manutenção preditiva.....</i>	52
2.4.2.3.4	<i>Manutenção pró-activa.....</i>	59
2.4.2.4	<i>Custo óptimo de manutenção.....</i>	62
CAPÍTULO III	64
3	ENQUADRAMENTO DA EXTRACÇÃO I.....	64
3.1	<i>Apresentação da empresa.....</i>	64
3.2	<i>Processo produtivo da Extracção I.....</i>	67
3.2.1	<i>Preparação.....</i>	68
3.2.1.1	<i>Pesagem.....</i>	69
3.2.1.2	<i>Limpeza.....</i>	69
3.2.1.3	<i>Trituração.....</i>	70
3.2.1.4	<i>Condicionamento térmico.....</i>	71
3.2.1.5	<i>Laminagem.....</i>	71
3.2.2	<i>Extracção mecânica.....</i>	72
3.2.2.1	<i>Cozimento.....</i>	73
3.2.2.2	<i>Prensagem.....</i>	73
3.2.3	<i>Extracção por solvente.....</i>	74
3.2.3.1	<i>Extractor.....</i>	75
3.2.3.2	<i>Destilação da mistura de percolação.....</i>	80
3.2.3.3	<i>Condensação de gases.....</i>	83
3.2.3.3.1	<i>Condensação de gases (circuito em depressão).....</i>	83
3.2.3.3.2	<i>Condensação de gases (circuito atmosférico).....</i>	84
3.2.3.4	<i>Recuperação final de gases.....</i>	86
3.2.3.5	<i>Desgomagem do óleo.....</i>	86
3.2.3.6	<i>Secagem do óleo.....</i>	87

3.2.3.7 Dessorventização.....	87
3.2.3.8 Granulação.....	88
CAPÍTULO IV	89
4 ANÁLISE GLOBAL DAS FALHAS DO SISTEMA REPÁRAVEL: EXTRACÇÃO I.....	89
4.1 Introdução.....	89
4.2 Análise das interrupções de produção.....	90
4.2.1 Causas das interrupções de produção.....	91
4.2.2 Análise da duração das interrupções de produção.....	92
4.2.2.1 Determinação dos tempos técnicos médios de reparação.....	94
4.3 Análise da ordem cronológica das falhas técnicas.....	97
4.3.1 Análise de tendência de dados do sistema reparável.....	97
4.3.2 Análise de tendência de dados dos subsistemas reparáveis de primeiro nível.....	99
4.4 Análise da disponibilidade.....	105
4.5 Discussão dos resultados.....	107
4.5.1 Avaliação global das falhas técnicas da Extracção I.....	108
4.5.2 Avaliação das falhas técnicas dos subsistemas reparáveis da Extracção I.....	108
CAPÍTULO V	110
5 ANÁLISE E MODELAÇÃO DAS FALHAS E REPARAÇÕES NOS TRANSPORTADORES DE CORRENTE.....	110
5.1 Introdução.....	110
5.2 Caracterização do subsistema reparável – transportadores de corrente.....	111
5.2.1 Funcionamento dos transportadores de corrente.....	111
5.2.2 Decomposição dos transportadores de corrente.....	112
5.3 Elaboração da Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA).....	113
5.3.1 Definição dos critérios de ocorrência, gravidade e detectabilidade das falhas.....	114
5.3.2 Determinação e análise do índice de severidade dos modos de falha.....	115
5.3.2.1 Aplicação do Diagrama de Pareto aos índices de severidade dos modos de falha.....	117
5.3.2.2 Determinação dos órgãos/componentes críticos.....	118

5.3.2.2.1 Aplicação do Diagrama de Pareto aos órgãos/componentes críticos.....	120
5.3.3 Determinação e análise do índice de gravidade dos modos de falha.....	121
5.3.3.1 Aplicação do Diagrama de Pareto aos índices de gravidade.....	122
5.4 Planeamento da manutenção preventiva.....	122
5.4.1 Com base na fiabilidade do componente crítico.....	122
5.4.1.1 Limite inferior de confiança.....	124
5.4.2 Com base na manutibilidade do componente crítico.....	125
5.4.2.1 Limite superior de confiança.....	127
5.4.3 Gamas da manutenção preventiva.....	129
5.4.3.1 Gama da manutenção preventiva dedicada ao componente crítico.....	129
5.4.3.2 Gama da manutenção preventiva dedicada às falhas catastróficas.....	130
5.4.3.3 Gama da manutenção preventiva geral.....	131
5.4.4 Optimização do custo da manutenção preventiva.....	132
5.5 Discussão dos resultados.....	134
CAPÍTULO VI	136
6 ANÁLISE PREVENTIVA DE ACIDENTES DE MANUTENÇÃO NA EXTRACÇÃO I.....	136
6.1 Introdução.....	136
6.2 Método WAIT.....	138
6.3 WAIT aplicado às tarefas de manutenção realizadas na Extracção 1.....	142
6.3.1 Procedimento de recolha de dados.....	142
6.3.2 Resultados do questionário.....	142
6.3.2.1 Local e ambiente de trabalho.....	143
6.3.2.1.1 Local e ambiente circundante.....	143
6.3.2.1.2 Tarefas e trabalho.....	146
6.3.2.1.3 Informação, comunicação e equipamentos.....	147
6.3.2.2 Factores relacionados com as pessoas.....	148
6.3.2.2.1 Funções cognitivas e de execução.....	148
6.3.2.2.2 Funções gerais - temporárias do indivíduo.....	149
6.3.2.2.3 Funções gerais - permanentes do indivíduo.....	150
6.3.2.3 Factores relacionados com o trabalho, a tarefa	

ou a tecnologia.....	151
6.3.2.3.1 Procedimentos, organização e concepção do trabalho.....	151
6.3.2.3.2 Tecnologia e equipamentos.....	152
6.3.2.3.3 Formação, comunicação e motivação.....	154
6.4 Discussão dos resultados.....	155
CAPÍTULO VII	157
7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA O FUTURO.....	157
7.1 Conclusões.....	157
7.1.1 Análise global da disponibilidade da Extracção I.....	159
7.1.2 Planeamento da manutenção dos transportadores de corrente.....	160
7.1.3 Avaliação da segurança das tarefas de manutenção.....	161
7.2 Sugestões para o futuro.....	163
BIBLIOGRAFIA.....	165
ANEXO I.....	169
I EQUIPAMENTOS AFECTOS À EXTRACÇÃO I.....	169
I.1 Introdução.....	169
I.2 Equipamentos instalados: agrupados por famílias.....	170
I.3 Equipamentos instalados: agrupados por sectores.....	171
I.4 Layout industrial.....	172
ANEXO II	176
II ANÁLISE MODAL DE FALHAS E EFEITOS (FMEA).....	176
II.1 Introdução.....	176
II.2 Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA).....	178
ANEXO III	194
III QUESTIONÁRIO DE SEGURANÇA APLICADO ÀS TAREFAS DE MANUTENÇÃO.....	194
III.1 Introdução.....	194
III.2 Estrutura do questionário.....	195
III.3 Formato do questionário final.....	199

ÍNDICE DAS FIGURAS

<i>Figura 1.1 – Elementos chave para a gestão estratégica da manutenção.....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 1.2 – Fases do processo industrial da Extracção 1.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2.1 – Representação da função densidade de probabilidade de falha.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2.2 – Distribuição normal reduzida.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2.3 – Sistema reparável definido como «caixa preta».....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2.4 – Representação gráfica de um HPP.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2.5 – Representação tipo de um NHPP (sistemas com taxa de falhas decrescente).....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 2.6 – Representação tipo de um NHPP (sistemas com taxa de falhas crescente).....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2.7 – Abordagem integrada RAMS.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2.8 – As relações entre os factores RAMS.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2.9 – Variação da taxa de falhas durante a duração de um sistema.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2.10 – Relação entre a fiabilidade/manutibilidade e a disponibilidade do sistema.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 2.11 – Modelo de Reason de causalidade dos acidentes organizacionais.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 2.12 – Curva hipotética do desempenho humano vs. stresse/ansiedade.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 2.13 – Sumário dos principais erros humanos típicos.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 2.14 – Categorias de erros humanos.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 2.15 – Principais razões para problemas de segurança na manutenção.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 2.16 – Componentes da RCM.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 2.17 – Tipos de manutenção correctiva.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 2.18 – Elementos da manutenção preventiva.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 2.19 – Desenvolvimento do plano de manutenção preventiva.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 2.20 – Métodos empregues na manutenção pró-activa.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3.1 – Fotografia panorâmica da TAGOL SA.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3.2 – Fases típicas da preparação.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 3.3 – Fases típicas da extracção mecânica.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 3.4 – Fases típicas da extracção por solvente.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 3.5 – Princípio de funcionamento do circuito de solvente/mistura percolação.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 4.1 – Diagrama de causa e efeito.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 4.2 – Diagrama de Pareto da totalidade das causas das interrupções de produção.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 4.3 – Diagrama de Pareto das causas técnicas e de exploração das interrupções de produção.....</i>	<i>93</i>

<i>Figura 4.4 – Diagrama de Pareto aplicado ao MTTR dos subsistemas reparáveis (1.º ensaio).....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 4.5 – Diagrama de Pareto aplicado ao MTTR dos subsistemas reparáveis (2.º ensaio).....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 4.6 – Representação do número acumulado de falhas em função do tempo de duração do sistema.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 4.7 – Representação da ordem cronológica das falhas dos arrefecedores e respectivo valor esperado,o ajustado pelo modelo de Crow durante o 1.º ensaio.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 4.8 – Representação da ordem cronológica das falhas dos quadros eléctricos e respectivo valor esperado, ajustado pelo modelo de Crow durante o 2.º ensaio.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 4.9 – Valor esperado do MTBF dos arrefecedores durante o 1.º ensaio.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 4.10 – Valor esperado do MTBF dos quadros eléctricos durante o 2.º ensaio.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 4.11 – Disponibilidade dos subsistemas reparáveis durante os dois ensaios.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 5.1 – Transportadores de corrente agrupados por sectores.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 5.2 – Decomposição hierárquica dos transportadores de corrente.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 5.3 – Diagrama de Pareto aplicado a classes de índices de severidade.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 5.4 – Diagrama de Pareto aplicado à criticidade dos órgãos – componentes.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 5.5 – Diagrama de Pareto aplicado a classes de índices de gravidade.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 5.6 – Função cumulativa de distribuição – $R(t)$ [Weibull;1,22; 24,89].....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 5.7 – Função densidade de probabilidade – $f(t)$ [Weibull;1,22; 24,89].....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 5.8 – Função cumulativa de distribuição – $F(t)$ [Weibull; 0,95; 142].....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 5.9 – Função densidade de probabilidade – $f(t)$ [Weibull; 0,95; 142].....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 5.10 – Curva do custo de manutenção preventiva em função do tempo.....</i>	<i>134</i>
<i>Figura 6.1 – Resultados da avaliação do ambiente de trabalho no sector da preparação.....</i>	<i>144</i>
<i>Figura 6.2 – Resultados da avaliação do ambiente de trabalho no sector da extracção por solvente.....</i>	<i>145</i>
<i>Figura 6.3 – Resultados da avaliação do ambiente de trabalho no sector da granulação.....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 6.4 – Resultados da avaliação das tarefas e dos trabalhos de manutenção.....</i>	<i>147</i>
<i>Figura 6.5 – Resultados da avaliação da informação, da comunicação e dos equipamentos.....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 6.6 – Resultados da avaliação das funções cognitivas e da sua execução.....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 6.7 – Resultados da avaliação das funções gerais - temporárias do indivíduo.....</i>	<i>150</i>
<i>Figura 6.8 – Resultados da avaliação das funções gerais - permanentes do indivíduo.....</i>	<i>151</i>
<i>Figura 6.9 – Resultados da avaliação dos procedimentos, organização e concepção do trabalho....</i>	<i>152</i>
<i>Figura 6.10 – Resultados da avaliação da tecnologia e dos equipamentos.....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 6.11 – Resultados da avaliação da formação, da comunicação e da motivação.....</i>	<i>154</i>

ÍNDICE DOS QUADROS

<i>Quadro 2.1 – Benefícios durante o ciclo de duração dos sistemas reparáveis de fácil manutibilidade.....</i>	<i>32</i>
<i>Quadro 2.2 – Classificação de prioridades em manutenção reactiva.....</i>	<i>50</i>
<i>Quadro 2.3 – Métodos de monitorização aplicados a equipamentos específicos.....</i>	<i>54</i>
<i>Quadro 2.4 – Áreas de aplicação dos testes não destrutivos e respectivas limitações.....</i>	<i>58</i>
<i>Quadro 4.1 – Valores de MTTR para os subsistemas reparáveis durante os dois ensaios.....</i>	<i>94</i>
<i>Quadro 4.2 – Valores dos coeficientes e expressão para a taxa de falhas dos arrefecedores (1.º ensaio) e dos quadros eléctricos (2.º ensaio).....</i>	<i>100</i>
<i>Quadro 4.3 – Valores CMTBF para o 1.º ensaio de 357 dias.....</i>	<i>103</i>
<i>Quadro 4.4 – Valores CMTBF para o 2.º ensaio de 347 dias.....</i>	<i>104</i>
<i>Quadro 4.5 – Valores CMTBF e MTTR para o 1.º ensaio de 357 dias.....</i>	<i>105</i>
<i>Quadro 4.6 – Valores CMTBF e MTTR para o 2.º ensaio de 347 dias.....</i>	<i>106</i>
<i>Quadro 5.1 – Classificação atribuída à ocorrência.....</i>	<i>114</i>
<i>Quadro 5.2 – Classificação atribuída à gravidade do efeito.....</i>	<i>114</i>
<i>Quadro 5.3 – Classificação atribuída à probabilidade de não detecção.....</i>	<i>115</i>
<i>Quadro 5.4 – Classificação dos modos de falha por índice de severidade.....</i>	<i>115</i>
<i>Quadro 5.5 – Classificação da criticidade dos órgãos/componentes.....</i>	<i>118</i>
<i>Quadro 5.6 – Modos de falha com índice de gravidade catastrófico.....</i>	<i>121</i>
<i>Quadro 5.7 – Ocorrência de falhas das correntes de transporte durante os ensaios.....</i>	<i>123</i>
<i>Quadro 5.8 – Parâmetros de Weibull para um intervalo de confiança de 95%.....</i>	<i>124</i>
<i>Quadro 5.9 – Reparações das correntes de transporte durante os anos de 2003 e de 2004.....</i>	<i>126</i>
<i>Quadro 5.10 – Parâmetros de Weibull para um intervalo de confiança de 95%.....</i>	<i>126</i>
<i>Quadro 5.11 – Decomposição do Tempo Técnico de Reparação (TTR.....)</i>	<i>128</i>
<i>Quadro 5.12 – Acções de manutenção preventiva dedicadas ao componente crítico sem imobilização do equipamento.....</i>	<i>129</i>
<i>Quadro 5.13 – Acções de manutenção preventiva dedicadas ao componente crítico com imobilização do equipamento.....</i>	<i>130</i>
<i>Quadro 5.14 – Acções de manutenção preventiva dedicadas às falhas catastróficas sem imobilização do equipamento.....</i>	<i>130</i>
<i>Quadro 5.15 – Acções de manutenção preventiva dedicadas às falhas catastróficas com imobilização do equipamento.....</i>	<i>131</i>

<i>Quadro 5.16 – Acções de manutenção preventiva geral.....</i>	<i>132</i>
<i>Quadro 5.17 – Tempos Técnicos de Manutenção Preventiva (MTTR) dos subsistemas reparáveis....</i>	<i>133</i>
<i>Quadro 6.1 – (LAT) Factores influenciadores no local e no ambiente de trabalho.....</i>	<i>139</i>
<i>Quadro 6.2 – (IND) Factores cognitivos e de execução.....</i>	<i>140</i>
<i>Quadro 6.3 – (IND) Factores individuais temporários.....</i>	<i>140</i>
<i>Quadro 6.4 – (IND) Factores individuais permanentes.....</i>	<i>141</i>
<i>Quadro 6.5 – (TRB) Factores relacionados com o trabalho, a tarefa ou a tecnologia.....</i>	<i>141</i>

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1. Âmbito da investigação

2. Objectivos da dissertação

3. Estrutura da dissertação

1.1 Âmbito da investigação

Com a realidade efectiva da globalização dos mercados, a sobrevivência das empresas depende cada vez mais da sua capacidade de inovação e de competição. É através do rigor e da estratégia das políticas de gestão, a todos os níveis, que se consegue esse objectivo. Neste sentido, é impreterível encarar a actividade da manutenção em termos estratégicos e em qualquer ramo industrial.

Segundo Organ *et al.* (1997), a primeira geração da manutenção estava focada em responder correctamente às falhas ocorridas nos sistemas reparáveis ao longo dos respectivos períodos de duração. No entanto, as instalações industriais, apesar de serem bastante mais robustas do que são actualmente, poderiam apresentar custos de manutenção relativamente elevados devido ao baixo nível concorrencial existente. Actualmente, a realidade da manutenção é muito distinta e, segundo Murthy *et al.* (2002), deve assentar nos seguintes elementos chave:

- i. a gestão da manutenção deve ser encarada como uma actividade crucial para a sobrevivência e para o sucesso de qualquer empresa: por conseguinte, deve ser gerida estrategicamente;
- ii. a gestão da manutenção deve estar integrada com outras áreas de decisão, no âmbito da gestão da actividade de cada empresa. A figura (1.1) sintetiza a interacção que deve existir entre as diversas áreas de decisão, quando a manutenção é encarada como uma actividade estratégica para a actividade das empresas.

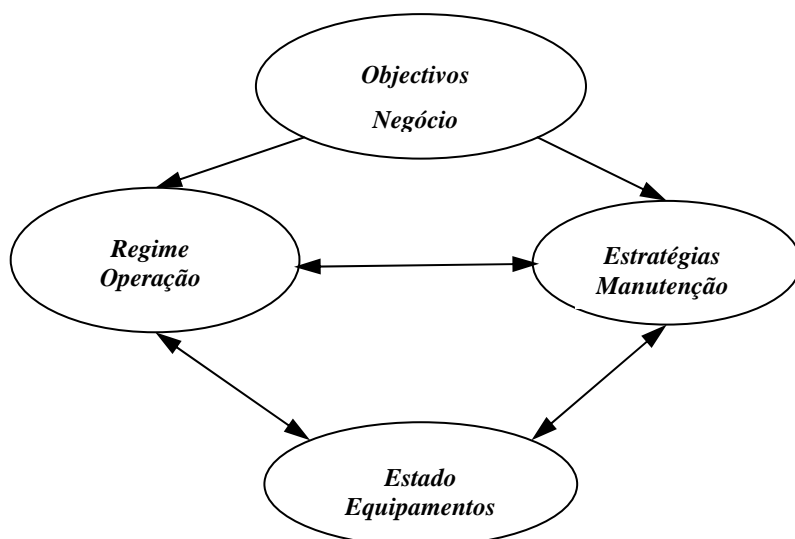


Fig. 1.1 – Elementos chave para a gestão estratégica da manutenção (Fonte: Murthy *et al.*, 2002)

Deve considerar-se que o ponto de partida da gestão da manutenção é a análise do estado do sistema em estudo, pois este é afectado tanto pelo processo de produção a que está ser sujeito como pelas actividades de manutenção realizadas. Por fim, o regime produtivo dos sistemas depende das decisões da produção, que por sua vez são consequência das decisões comerciais.

Murthy *et al.* (2002) realça também com bastante ênfase que a actividade da manutenção deve ser vista como uma actividade multidisciplinar, envolvendo os seguintes objectivos:

- i. compreender cientificamente os mecanismos de degradação dos sistemas e relacioná-los com o histórico das avarias;
- ii. elaborar modelos quantitativos que permitam prever os impactos de acções (manutenção e produção) em sistemas com uma taxa de falhas crescente;
- iii. gerir a manutenção com uma visão estratégica.

Por ser cada vez mais determinante garantir a disponibilidade das instalações, e consequentemente garantir o retorno dos investimentos, utilizam-se algumas técnicas de análise adequadas para avaliar o impacto das opções de projecto, de manutenção e de exploração na qualidade e na segurança dos sistemas. Desta forma, torna-se perceptível que as direcções industriais, que gerem activos de dimensão e complexidade significativos, com implicações técnicas, económicas e sociais, estejam cada vez mais sensíveis à metodologia

RAMS; este acrónimo anglo-saxónico de *reliability, availability, maintainability and safety* refere-se a uma metodologia que tem como objectivos a redução dos custos e a diminuição dos riscos.

A sua implementação exige rigor no tratamento da informação e, sobretudo, requer uma base de normalização que permita uma aproximação comum. Ou seja, que haja, fundamentalmente, critérios de estruturação e de hierarquização dos equipamentos, de modo a permitir uma abordagem coerente e contextualizada.

Actualmente, vários sectores de actividade têm incorporado condições sobre os factores RAMS nos contratos de fornecimento de equipamentos e de prestação de serviços, com especificações dos seguintes aspectos: dos tempos médios de reparação; dos tempos técnicos de reparação; dos indicadores de disponibilidade dos sistemas; etc. Alguns exemplos disso são os seguintes sectores: militar; espacial; da aviação comercial; do controlo de tráfego aéreo; da produção de energia eléctrica e, muito recentemente, o sector do transporte ferroviário, essencialmente no que respeita aos veículos ferroviários. Neste último, foi criada em 1999 pelo Cenelec a norma EN50126 de aplicação europeia, que recai sobre a especificação e a demonstração dos factores RAMS.

1.1.1 Pesquisa histórica dos conceitos de fiabilidade e RAMS

O conceito RAMS aparece pela primeira vez em 1972, ligado à origem do simpósio *The Annual Reliability and Maintainability Symposium* (www.rams.org), resultante da fusão da Conferência Anual de Fiabilidade e Manutibilidade do *American Institute of Aeronautics and Astronautics* (AIAA), da *Society of Automotive Engineers* (SAE) e da *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) com o Simpósio Anual em Fiabilidade.

No entanto, a história do conceito de fiabilidade inicia-se muito antes, remontando ao período da II Grande Guerra, com o surgimento da percepção por parte da Força Aérea Americana de que a fiabilidade era um factor crítico no ciclo de duração dos equipamentos e dos componentes, sobretudo quando se avaliava o seu desempenho no deslocamento de equipamento aéreo de longo curso.

Em particular, o conceito de fiabilidade surge ligado à problemática dos voos militares de longo curso, onde 60% do equipamento aéreo chegava danificado aos cenários de guerra.

Embora os componentes fossem fabricados com grande qualidade, quando montados num sistema não funcionavam.

Paralelamente, na Europa, através do programa de desenvolvimento alemão do míssil V-1, surge pela primeira vez o conceito de fiabilidade. Segundo relatos divulgados após a II Grande Guerra, foi possível identificar o total fracasso dos primeiros mísseis fabricados, não obstante a elevada qualidade individual dos seus componentes.

Durante a década de 40, as forças armadas e algumas entidades privadas ligadas ao ensino nos EUA iniciaram a realização de estudos no âmbito da análise de falhas de válvulas, resistências, condensadores, transformadores, relés e outros componentes electrónicos, por forma a melhorar o seu desempenho. Em 1950, o Departamento de Defesa Americano estabeleceu um grupo *ad hoc* para o estudo da fiabilidade e, em 1951, o *Secretary of Defense* publicou uma directiva para todas as agências do Departamento de Defesa no sentido de aumentarem a ênfase na fiabilidade dos equipamentos electrónicos militares. Em 1952, o grupo *ad hoc* assumiu o estatuto de permanente, com a denominação de *Advisory Group on the Reliability of Electronic Equipment (AGREE)*. Nesse ano a fiabilidade surgiu como uma disciplina individual, dando origem a várias normas militares; em 1957 é publicado o primeiro relatório sobre fiabilidade.

No ano de 1954 efectuou-se o primeiro Simpósio Nacional em Fiabilidade e Controlo de Qualidade, patrocinado pelo *Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)*, pela *American Society for Quality Control (ASQC)* e pela *Illuminating Engineering Society (IES)*, cujos procedimentos e conclusões foram mais tarde publicados. Em 1955, o *IEEE* cria a Sociedade da Fiabilidade e Controlo de Qualidade e publica o primeiro livro sobre a matéria.

Em 1959, a Força Aérea Americana publica um documento com um programa para a gestão da fiabilidade dos equipamentos onde, pela primeira vez, foram estipuladas condições mínimas a cumprir pelos seus fornecedores. Um dos aspectos salientes do documento era a exigência aos fornecedores da demonstração da fiabilidade especificada nas condições contratuais. Paralelamente, passava a ser requerido ao fornecedor a preparação de um plano escrito, descrevendo o programa da fiabilidade que este assumia durante o período contratual.

Em 1960, a *US Naval Post-Graduate School* torna-se a primeira instituição a leccionar cursos de engenharia de fiabilidade, à qual se juntou, um ano mais tarde, a *US Army Management Engineering and Training Activity (AMETA)* com cursos de fiabilidade e de manutibilidade.

Dois anos mais tarde, o *American Institute of Aeronautics and Astronautics* (AIAA) e a *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) iniciam a primeira Conferência Anual de Fiabilidade e Manutibilidade, tendo sido muito publicitada, tal como as posteriores.

Na década de 60, o interesse fiabilístico nos EUA estava centrado nos mísseis balísticos intercontinentais e na investigação espacial. Em 1963, a NASA adoptou uma série de linhas orientadoras de gestão dos contratos de fornecimento de forma a assegurar: a fiabilidade dos equipamentos dos sistemas espaciais, incluindo os níveis de fiabilidade dos componentes a serem utilizados; os testes a serem realizados e a exigência de certificação dos mesmos.

Nos anos 70, o interesse por estes assuntos cresceu nos EUA, na Europa e na Ásia com a análise de segurança ligada à construção de centrais nucleares. Uma perspectiva histórica mais detalhada sobre os aspectos tecnológicos da fiabilidade pode ser encontrada em Knigh (1991), Villemeur (1992) ou em Kececioglu (1991).

1.1.2 Estado da arte

A Extracção I teve, um forte crescimento em termos de capacidade produtiva com laboração de diferentes sementes oleaginosas, sendo a instalação pertencente ao parque industrial da Tagol SA a que apresentou o maior crescimento produtivo nos últimos anos.

Reflecte, por um lado, o resultado de um programa ambicioso de investimentos repartido pelas diversas fases do processo, representadas esquematicamente na figura (1.2), bem como a permanente preocupação mantida por esta empresa com a optimização da disponibilidade das suas unidades industriais; para tal, envidou todos os esforços por evitar falhas nos equipamentos e as consequentes limitações ou interrupções na produção.

No entanto, da observação e acompanhamento da actividade desenvolvida na unidade industrial em estudo, constata-se que a explicitação, quando possível, de eventuais factores globais de risco de falha é suportada pelo conceito prático de exploração da instalação, não sendo utilizados modelos de carácter científico. A ordem cronológica das falhas também não é utilizada para avaliar a fiabilidade da Extracção I, nem dos subsistemas que a compõem.

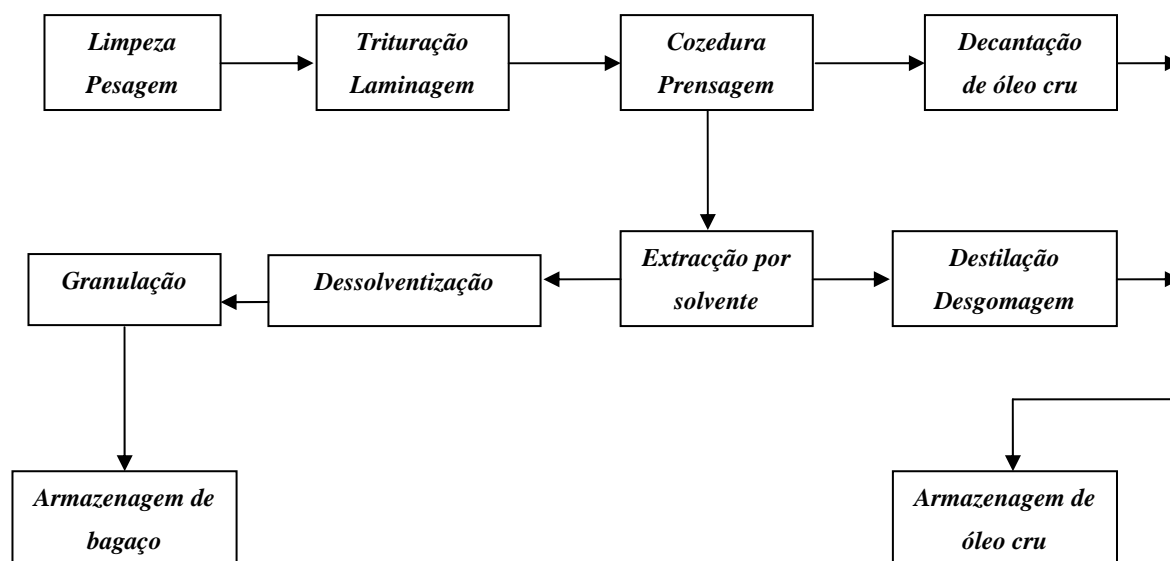


Fig. 1.2 – Fases do processo industrial da Extracção I

1.2 Objectivos da dissertação

O objectivo principal da presente dissertação é o desenvolvimento de métodos apropriados para apoio das tomadas de decisão nas políticas de manutenção, com base na fiabilidade e na manutibilidade dos equipamentos, a serem adoptados nos sistemas reparáveis. Tem ainda como segundo objectivo a aplicação de um método desenvolvido no âmbito da segurança ocupacional para a análise dos acidentes organizacionais, adaptado para a prevenção de acidentes na unidade em estudo.

Neste caso particular, é utilizada a metodologia RAMS. Para tal, recorre-se à sua aplicação num contexto industrial de laboração contínua de extracção de oleaginosas, cujos índices de eficiência da manutenção necessitam de melhorar continuamente para que a actividade se possa manter competitiva.

A extensão do *layout* industrial, aliada ao regime produtivo em contínuo e aos condicionalismos de segurança da instalação, concentra nesta actividade uma parte muito importante das dificuldades em reduzir o número de falhas e de interrupções da produção.

O problema atinge uma dimensão demasiado elevada para que se possa encarar o seu tratamento em simultâneo em todas as instalações da Tagol SA, com vista à obtenção de resultados credíveis em tempo útil. Assim, seleccionou-se um dos mais críticos sistemas de produção – a Extracção I. Com a eventual demonstração de resultados positivos a partir da

aplicação da metodologia neste sistema, poderá pensar-se em estender a sua aplicação a outros subsistemas e até mesmo a sistemas reparáveis.

A metodologia utilizada, no âmbito da fiabilidade do sistema, consiste no tratamento estatístico dos dados recolhidos sob duas vertentes: a primeira, considera a instalação como um conjunto global onde ocorre um determinado número de falhas, para as quais é possível, através da sua ordem cronológica, conhecer a tendência; a segunda, considera os subsistemas constituintes para determinar ou estimar o tempo médio entre reparações.

Relativamente à análise da manutibilidade, é possível aplicar a metodologia de modo a conhecer o seu indicador através da determinação dos respectivos tempos técnicos médios de reparação. Este aspecto é de extrema importância, uma vez que a duração das reparações pode assumir um carácter extremamente grave para o rendimento produtivo da instalação.

Finalmente, permite conhecer os valores da disponibilidade, tanto para o conjunto global (caixa preta), de acordo com Dias (2002), como para cada subsistema, utilizando para tal os respectivos indicadores de fiabilidade e de manutibilidade.

Através da metodologia da gestão da qualidade e da Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA) aplicada a cada subsistema, é possível conhecer-lhe os órgãos e os componentes críticos. A modelação dos tempos de duração dos componentes e as durações dos tempos técnicos de reparação são outro objectivo desta dissertação, com vista à optimização dos intervalos entre tarefas de manutenção preventiva. Na modelação estatística é utilizada a aplicação informática, *Statistica 7*.

Como forma de complemento à anterior optimização, aborda-se a questão dos intervalos entre reparações quanto aos custos de manutenção preventiva, por um lado, e aos custos de manutenção curativa, por outro. Para tal, utiliza-se a aplicação informática, *Mathcad*.

Resta a definição das tarefas de manutenção preventiva, que resulta da análise dos efeitos de cada modo de falha, estudados detalhadamente na Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA).

Por último, pretende-se através da adaptação do Método WAIT, para a prevenção de acidentes, encontrar os pontos negativos, no sentido de propor algumas medidas de índole prática para a melhoria no âmbito da segurança ocupacional da instalação.

Finalmente, considerando a actualidade e o potencial de desenvolvimento do tema desta dissertação como ferramenta de gestão da manutenção, submeteu-se um artigo (Baptista & Dias, 2007), focado neste tema, para aprovação científica da *European Safety and Reliability Association (ESRA)*.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se dividida em sete capítulos, organizados por matérias em desenvolvimento e que podem ser descritos da seguinte forma:

– no capítulo II procura-se enquadrar, por um lado, as técnicas estatísticas utilizadas em fiabilidade; por outro, o modelo de avaliação de acidentes organizacionais. Ambos são utilizados como fundamentos teóricos na análise RAMS desenvolvida na parte experimental desta dissertação. Na revisão bibliográfica, destacou-se a pesquisa das temáticas «Estatística das falhas», «Sistemas reparáveis» e «Metodologia RAMS», com uma referência importante ao Método WAIT, cujos aspectos abordados foram utilizados em grande parte neste trabalho.

A descrição e o enquadramento da unidade industrial considerada neste trabalho de investigação como sistema reparável, cuja metodologia RAMS foi aplicada, surgem de forma sucinta no capítulo III. Nele se foca o aspecto do processo produtivo e se procura relacionar os subsistemas reparáveis que constituem a unidade com as diversas fases do processo em análise.

– no capítulo IV inicia-se a aplicação prática dos modelos teóricos apresentados no tratamento dos dados recolhidos na unidade em análise. Primeiramente, proceder-se-á à análise das causas das falhas, com o objectivo de isolar as que derivam de causas técnicas. Posteriormente, considerar-se-á a unidade como uma «caixa negra» e far-se-á uma análise cronológica das suas falhas técnicas para detectar eventuais tendências no sistema, através da aplicação do Teste de Laplace. Para tal, utiliza-se como variável métrica o tempo desde a última falha. De seguida, avalia-se a fiabilidade e a manutibilidade de cada subsistema constituinte, de modo a estimar o indicador de disponibilidade; a manutibilidade é avaliada, a partir do indicador MTTR. No final do capítulo proceder-se-á a uma discussão dos resultados.

A avaliação detalhada das falhas e das reparações do subsistema reparável com menor disponibilidade é realizada no capítulo V, com vista à sua modelação e à obtenção de uma gama de tarefas de manutenção baseada na sua fiabilidade e na sua manutibilidade. Para além

disso, aponta-se um método de determinação de intervalos de execução das tarefas, com base na optimização dos custos de manutenção preventiva. O capítulo encerra-se com uma discussão dos resultados.

– no capítulo VI aborda-se a problemática da segurança ocupacional da instalação, no que respeita às tarefas de manutenção realizadas na unidade em estudo. São avaliados os factores que influenciam os acidentes nos locais e no ambiente de trabalho, os factores relacionados com as próprias pessoas e, finalmente, a própria organização e a gestão dos trabalhos. Para esta avaliação, recorre-se aos dados obtidos através de inquéritos anónimos aos intervenientes (informação subjectiva). No final do capítulo efectua-se a discussão dos resultados.

– no capítulo VII apresentam-se as conclusões desta dissertação e as sugestões apontadas para trabalhos futuros nesta área.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Introdução

2. Estatística das falhas

3. Sistemas reparáveis

4. Análise RAMS

2.1 Introdução

Dias (2002) afirma com alguma ênfase que «conhecer exactamente a fiabilidade dos sistemas e a forma de a melhorar, constitui uma das componentes mais importantes para o aumento global da qualidade do serviço». No caso da Extracção I, o aumento da qualidade do serviço poderá estar relacionado com o aumento da disponibilidade da instalação, bem como com a melhoria da qualidade dos produtos finais.

Outro factor importante para o resultado da disponibilidade, como se verá a seguir, é a manutibilidade dos sistemas, caracterizada, na prática, pelo Tempo Técnico de Reparação (TTR), conceito que pode ser estatisticamente estudado e desenvolvido em aplicações práticas.

A segurança operacional existe como conceito que encerra o estudo de uma metodologia como a RAMS, na medida em que é útil para todas as instalações a definição de medidas de controlo dos riscos associados às respectivas actividades. Para além disso, observa-se a obrigatoriedade legal de uma análise e avaliação de riscos dos locais de trabalho, qualquer que seja a sua actividade.

Procurar-se-á estudar, na primeira secção, os conceitos ligados à «Estatística das falhas», caracterizando a análise e o tratamento estatístico dos dados da variável métrica aplicada e a modelação das distribuições estatísticas mais utilizadas no estudo da fiabilidade.

Na segunda secção, estabelecer-se-á a definição de «Sistemas reparáveis» e a apresentar-se-ão: o «Teste de Laplace», como teste de tendência de dados com aplicação de interesse prático; modelos não paramétricos que permitem comparar e estimar a função fiabilidade entre os sistemas.

Por último, será descrita a metodologia RAMS que integra os conceitos estatísticos com métricas de natureza prática, com vista à sua aplicação experimental na política de manutenção definida.

2.2 Estatística das falhas

A fiabilidade é definida como a probabilidade de um sistema desempenhar uma função especificada, segundo dadas condições operacionais, durante um período de tempo estabelecido (Dias, 2002). O comportamento de um sistema não pode ser analisado numa perspectiva determinística, mas sim numa perspectiva estocástica, isto é, com variações aleatórias. A análise completa de um processo estocástico (P Est) pode ser conseguida através da aplicação da teoria da probabilidade.

O mesmo autor também afirma que a fiabilidade constitui um método de análise estatística, para estudar as ocorrências e os respectivos tempos dos acontecimentos. Estes métodos são frequentemente aplicados ao estudo da mortalidade, quer nos Sistemas Industriais, quer nas Ciências Naturais e Sociais.

No tratamento dos tempos de falha surge frequentemente informação incompleta ou censurada, quando o tempo exacto de falha não é observado, assim como as covariáveis dele dependentes. A análise dos tempos desde a última falha permite manipular os dados censurados e as covariáveis dependentes da variável tempo. A metodologia consiste em dividir a informação em dados censurados e não censurados, de tal forma que seja possível obter estimadores consistentes dos parâmetros.

Nesta secção, abordar-se-á a análise dos tempos de duração e os intervalos de tempo entre falhas consecutivas de sistemas reparáveis, referindo-se os aspectos mais relevantes do tipo da censura, assim como a problemática da variável métrica.

2.2.1 Análise dos tempos de falha

Em qualquer aplicação onde as amostras assumam características próprias, existem dois aspectos para a análise e tratamento dos dados de tempo comuns aos diferentes métodos utilizados em fiabilidade, que devem ser considerados à partida (Dias, 2002):

- ✓ recolha e tratamento de dados com a presença de valores censurados ou suspensos;
- ✓ escolha da escala mais adequada para a variável métrica.

2.2.1.1 Informação censurada

A distinção mais vulgar da informação censurada é entre dados censurados à direita e dados censurados à esquerda. Uma observação do tempo de ocorrência de algum acontecimento é censurada à direita, quando apenas se sabe que essa observação é maior que um determinado tempo que limita o teste. Os dados são, então, censurados à direita, porque as observações terminam antes da ocorrência de falha.

Simetricamente, dados censurados à esquerda ocorrem quando a observação do tempo de ocorrência de algum acontecimento é menor que um determinado valor predefinido. No contexto da análise de tempos desde a última falha, os dados censurados à esquerda podem ocorrer quando iniciamos as observações sobre sistemas que já tiveram falhas antes do período de observação da amostra assíncrona.

A abordagem dos dados censurados é importante quando se utilizam amostras assíncronas, definidas por Ascher & Feingold (1984) como sendo amostras em que os dados são observados durante um período aleatório da duração do sistema, desconhecendo-se a existência de falhas anteriores a esse período.

A existência de dados censurados à esquerda resulta do facto de se utilizarem amostras assíncronas, isto é, de se ter estabelecido um momento aleatório para o início das observações. Segundo Leitão (1989), se assumirmos que os acontecimentos ocorrem segundo um Processo de Poisson Homogéneo (HPP), os dados censurados à esquerda podem ser ignorados e a análise iniciada em qualquer ponto aleatório do processo. Para desenvolvimento deste tema, recomenda-se a leitura de Dias (2002).

2.2.1.2 Variável métrica

Segundo Dias (2002), a sequência dos acontecimentos, tendo na devida conta a sua ordem cronológica, é de primordial importância para a modelação dos sistemas reparáveis. Os modelos de fiabilidade estão geralmente relacionados com o tempo dos acontecimentos, embora possam ser utilizadas outras variáveis métricas (ciclos de funcionamento, número de quilómetros percorridos, etc.).

Como se verá mais adiante, por exemplo na modelação das ocorrências de falha, utiliza-se como variável métrica as horas de intervalo entre falhas. Os minutos podem ser mais indicados para a modelação da duração das interrupções.

2.2.1.3 Análise estatística das falhas

No contexto da fiabilidade é usual aplicar-se a distribuição «normal» para modelar a variável aleatória, que neste caso representa o tempo desde a última falha. No entanto, carece de alguma atenção na sua aplicação, dado que o tempo desde a última falha é sempre um valor positivo. Por esta razão, a distribuição estatística mais utilizada em modelos de fiabilidade de tempos de duração é a distribuição de *Weibull*, dado que a variável métrica aplicável é sempre positiva.

A distribuição de probabilidade de T (considerando T uma variável aleatória representando o tempo desde a última falha), pode ser especificada das seguintes formas: a *função de fiabilidade*, a *função densidade de probabilidade* e a *função de risco*.

A função de fiabilidade de T , também designada por função de sobrevivência de T , é definida para valores contínuos e discretos, como a probabilidade de T ser maior ou igual que determinado valor t , definida pela expressão,

$$R(t) = P(T \geq t) = 1 - F(t) \quad 0 < t < \infty \quad (2.1)$$

Considerando a população homogénea, a função $F(t)$ dá a probabilidade de o tempo de falha T ser menor que t , pela expressão,

$$F(t) = P(T < t) = \int_0^t f(t) dt \quad (2.2)$$

Assim, a função densidade de probabilidade é dada pela expressão,

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \quad (2.3)$$

A função de risco é definida como sendo a probabilidade condicionada de falhar, dado que a falha não é verificada até t . Pode-se representar matematicamente pela expressão (2.4), denominada também como Força de Mortalidade (FOM), por Ascher & Feingold (1984),

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t | T > t)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.4)$$

Donde resulta, aplicando a expressão (2.2) para a função de fiabilidade, a seguinte expressão:

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (2.5)$$

Que se traduz graficamente na seguinte representação (figura 2.1),

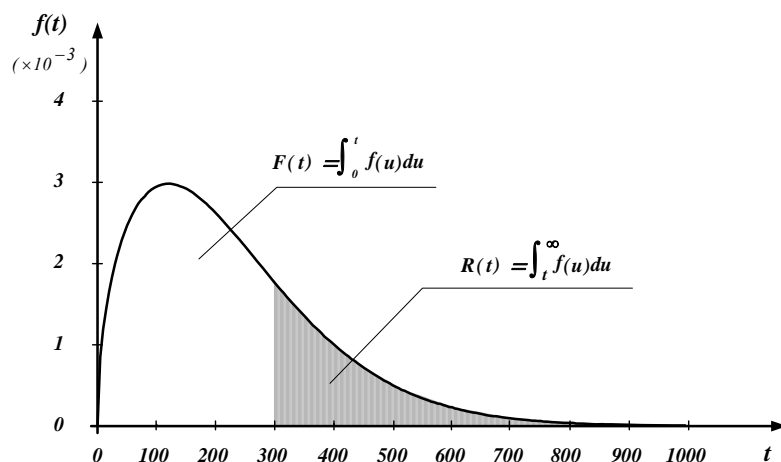


Fig. 2.1 – Representação da função densidade de probabilidade de falha (Fonte: Dias, 2002)

Podem deduzir-se as expressões para $R(t)$ e $f(t)$ em termos de $h(t)$, utilizando a expressão (2.4),

$$h(t) = \frac{\frac{d}{dt}[1 - R(t)]}{R(t)} = -\frac{\frac{d}{dt}R(t)}{R(t)} = -\frac{d}{dt} \ln R(t) \quad \Leftrightarrow \quad -\int_0^x h(t)dt = \ln R(t) \Big|_0^x$$

Como $R(0) = 1$, obtém-se:

$$R(x) = e^{-\int_0^x h(t)dt} \quad (2.6)$$

Caso a variável métrica siga uma distribuição de *Weibull*, a função densidade de probabilidade pode ser definida da seguinte forma,

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta^\beta} t^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.7)$$

E a função distribuição de probabilidade pode ser dada por,

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.8)$$

Onde β é o parâmetro de forma e o θ é o parâmetro de escala.

A distribuição de *Weibull* é uma distribuição estatística muito versátil, comportando-se como uma distribuição exponencial negativa quando o parâmetro de forma é igual a 1. Pode ainda apresentar uma função de risco crescente quando o mesmo parâmetro de forma é superior a 1, e uma função de risco decrescente quando é inferior a 1.

2.3 Sistemas reparáveis

Segundo Ascher & Feingold (1984), um sistema reparável deve ser entendido como o que após cada falha pode ser reparado para o total desempenho da sua função.

A maioria dos equipamentos industriais pode ser analisada como fazendo parte de sistemas reparáveis. Os sistemas reparáveis são, por definição, sujeitos a acções de manutenção que podem influenciar os intervalos de tempo entre falhas. Daí a necessidade, ao iniciar qualquer estudo, de analisar a tendência e a independência dos dados disponíveis.

A modelação probabilística e a análise estatística, em si próprias, não contribuem para aumentar a fiabilidade. Contudo, são essenciais para revelar quando um componente cumpre os seus requisitos de fiabilidade e, consequentemente, contribui para a melhoria da fiabilidade do sistema reparável no seu todo.

2.3.1 Taxa de falhas

Um sistema reparável está sujeito a uma sequência de falhas que depende do tempo de duração de cada componente e, portanto, das distribuições estatísticas associadas ao tempo de duração de cada um deles. A taxa de falhas tem a ver com o Processo Estocástico (P Est) que modela o número de falhas ao longo do tempo.

A dificuldade surge, frequentemente, quando os intervalos de tempo entre falhas podem ser modelados por uma distribuição estatística. Se esta distribuição estatística é a distribuição exponencial negativa, caracterizada por uma função de risco constante, então, é vulgar considerar que se trata de um Processo de Poisson Homogéneo (HPP), esquecendo a sequência cronológica das falhas.

O'Connor (1994) desenvolveu uma série de técnicas estatísticas para analisar a duração da primeira falha. A função de distribuição dos tempos para falhar é obviamente importante quando se tem de compreender o processo de falha dos componentes, ou dos subsistemas não reparáveis, permitindo estimar para estes a respectiva função fiabilidade. Contudo, sendo que os equipamentos industriais são, na grande maioria, sistema reparáveis, como atrás referido, resulta que a taxa de falhas do sistema ganha importância perante a distribuição dos tempos de falha.

2.3.1.1 Teste de tendência de dados

Em aplicações práticas é vulgar considerar apenas o Teste de Laplace (Ascher & Feingold, 1989) para analisar o comportamento das falhas, permitindo verificar se a sua taxa é constante ou se, pelo contrário, apresenta alguma tendência. Em situações onde se suspeite que possam ocorrer falhas subsidiárias das antecedentes, em virtude de manutenções imperfeitas e em que, de alguma forma, se torne suspeita a presença de dependência nos tempos de falha, é importante estudar a eventual correlação dos dados utilizando a metodologia de correlação para os vários *lag* da série inicial de dados.

No pressuposto de um Processo de Poisson Homogéneo (HPP), a estatística do Teste de Laplace é distribuída segundo a distribuição normal reduzida. Pode ser obtida pela equação (2.7), na qual n_f representa o número de falhas, T é o tempo de observação do sistema e τ é a idade do sistema no momento da falha. Teste limitado pelo tempo,

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \cdot \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f \cdot T} - 0,5 \right] \quad (2.9)$$

O Teste de Laplace permite concluir, após os tempos de falhas serem ordenados cronologicamente, e para um determinado nível de significância, se o sistema reparável se comporta como um HPP ou se, pelo contrário, como um NHPP. Para que o sistema reparável se comporte como um HPP, os valores da estatística do teste, z_0 deverão situar-se dentro do intervalo de confiança. Valores negativos fora do intervalo indicam a presença de um NHPP

com taxa de falhas decrescente, enquanto que valores positivos fora do intervalo indicam taxa de falhas crescente (figura 2.2).

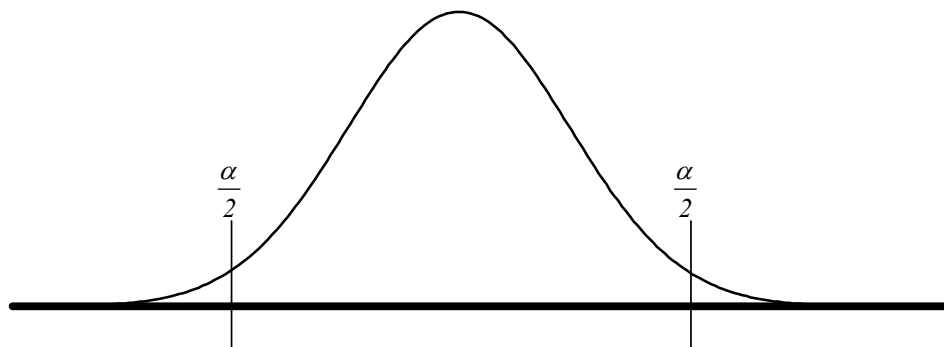


Fig. 2.2 – Distribuição normal reduzida

2.3.2 Processos estocásticos pontuais: Processos de Poisson

Podem ser classificados em factores de controlo ou em factores de ruído, se os mesmos não forem facilmente controláveis. Aos factores controláveis (por exemplo k factores) e respectivos níveis é possível associar covariáveis explicativas do processo de falha.

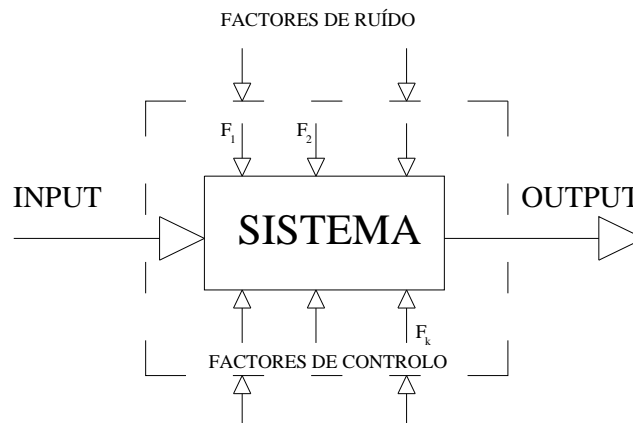


Fig. 2.3 – Sistema reparável definido como «caixa preta» (Dias *et al.*, 2002)

A utilização de modelos não paramétricos permite estimar e comparar a função de fiabilidade dos diversos equipamentos industriais, sem necessidade de se conhecer ou especificar a distribuição de probabilidade dos intervalos de tempo das ocorrências.

Podem-se considerar, objectivamente, dois tipos de modelos. Os modelos tipo I, em que a eventual análise de factores depende da estratificação da informação, exigindo uma abordagem estatística mais complexa; os modelos tipo II, em que é possível modelar a influência de factores (covariáveis) relacionados com os aspectos físicos constituintes dos sistemas reparáveis, menos complexos do ponto vista estatístico. Para os modelos referidos, é necessário assumir que os tempos de intervenção da manutenção são desprezáveis quando comparados com os intervalos de tempo entre avarias.

2.3.2.1 Modelos tipo I

Os modelos tipo I, baseados em processos estocásticos pontuais podem, segundo Leitão (1989), apresentar a seguinte classificação:

- i) Processos de Poisson Homogéneos (HPP)
- ii) Processos de Poisson não Homogéneos (NHPP)
- iii) Processos de Poisson Ramificados (BPP)
- iv) Processos Renovados (RP)
- v) Processos Renovados Sobrepostos (SRP)
- vi) Processos Birth-Immigration (BIP)

Adiante serão explicados em detalhe os Processos de Poisson Homogéneos (HPP) e os Processos de Poisson não Homogéneos (NHPP). Os restantes modelos poderão ser conhecidos em pormenor em Dias (2002).

2.3.2.1.1 Processos de Poisson Homogéneos (HPP)

A fiabilidade dos sistemas reparáveis só deve ser calculada se o seu comportamento evidenciar a presença de um Processo de Poisson Homogéneo (HPP). Caso contrário, se a

sequência das falhas não for independente, não é possível determinar estatisticamente o *Mean Time Between Failures (MTBF)* do sistema.

Em termos práticos, a manutenção dos sistemas reparáveis após cada falha deverá ser realizada nas condições técnicas mais adequadas, para que a falha seguinte seja independente das falhas anteriores.

A seguir apresentam-se as condições *sine qua non* para que um processo estocástico pontual $\{N(\tau), \tau \geq 0\}$ seja um HPP,

- i) $N(0) = 0$
- ii) $\{N(\tau), \tau \geq 0\}$ é incrementado de uma forma independente (independência dos dados)
- iii) O número de falhas em qualquer $\Delta\tau$ segue uma distribuição de Poisson com um valor médio de $m = \lambda \times \Delta\tau$

Nestas condições, a probabilidade de ocorrerem n_f falhas num determinado intervalo $\Delta\tau$, será dada por,

$$P\{N(\Delta\tau) = n_f\} = \frac{e^{-m} m^{n_f}}{n_f!} \quad (2.10)$$

Neste caso, a fiabilidade do sistema reparável pode ser calculada com a probabilidade de n_f igual a zero falhas para um determinado intervalo de tempo. Logo,

$$R(\Delta\tau) = e^{-\lambda \cdot \Delta\tau} \quad (2.11)$$

A expressão anterior permite calcular a fiabilidade de um sistema, para que um intervalo de tempo $\Delta\tau$ tenha um comportamento segundo um HPP.

De facto, se um sistema reparável apresenta uma taxa de falhas constante, a fiabilidade para o próximo período de funcionamento é independente do tempo de duração durante o qual exhibe esse tipo de taxa de falhas. Neste contexto, como foi referido, poder-se-á calcular o MTBF do sistema como sendo o inverso da taxa de falhas em que estas seguem um HPP.

O facto de o sistema se comportar com um HPP e de os tempos desde a última falha seguirem uma distribuição exponencial negativa, não quer dizer que os componentes que o compõem apresentem uma função de risco constante. Este aspecto é de importância primordial em manutenção, pois apenas os componentes com função de risco crescente devem ser substituídos preventivamente.

Leitão (1989) refere a dificuldade de utilizar, em termos práticos de manutenção, a substituição preventiva de componentes num sistema que apresenta uma taxa de falhas constante. De facto, um sistema com uma taxa de falhas constante não beneficia com a substituição preventiva de componentes com função de risco constante; apenas os componentes com função de risco crescente devem ser substituídos preventivamente.

A figura (2.4) representa graficamente o número de falhas em função do tempo de duração do sistema no momento da falha. Neste caso, como se pode verificar, os dados parecem apresentar uma sequência aleatória. Este comportamento de falha é característico de um Processo de Poisson Homogéneo (HPP), que do ponto de vista do sistema pode representar uma taxa de falhas constante.

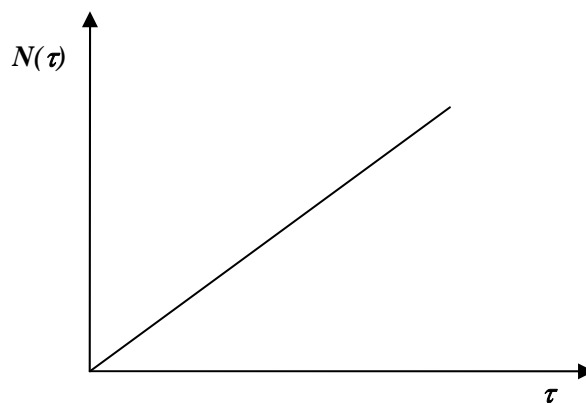


Fig. 2.4 – Representação gráfica de um HPP

2.3.2.1.2 Processos de Poisson Não Homogéneos (NHPP)

Em aplicações práticas, é frequente utilizar-se apenas o Teste de Laplace para testar a presença de um HPP contra um NHPP. A presença de um NHPP caracteriza-se por uma taxa de falhas dependente do tempo, significando que ao longo desse tempo os intervalos entre

falhas tendem a diminuir ou a aumentar correspondendo, respectivamente, a um sistema reparável com uma taxa de falhas crescente ou decrescente.

Nas figuras seguintes estão representados, a título de exemplo, os tempos de duração do sistema no momento da falha. Como se pode verificar na figura (2.5), existe uma tendência para o aumento dos intervalos de tempo, prenunciando uma taxa de falhas decrescente.

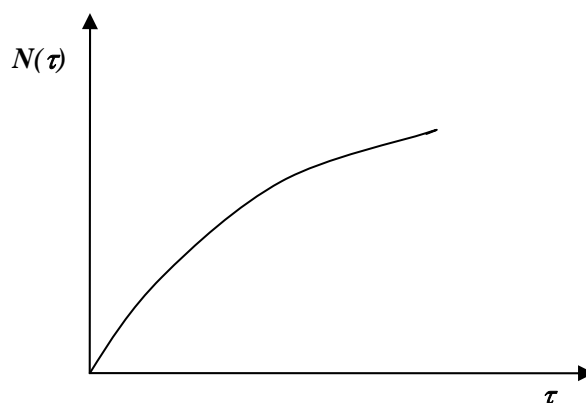


Fig. 2.5 – Representação tipo de um NHPP (sistemas com taxa de falhas decrescente)

A representação gráfica indicada, apesar de permitir uma avaliação visual do comportamento do sistema relativamente à taxa de falhas, não deve dispensar a utilização do Teste de Laplace.

Por outro lado, na figura (2.6) os intervalos de tempo entre falhas tendem a diminuir ao longo do tempo, prenunciando uma eventual tendência de envelhecimento do sistema. A aplicação do Teste de Laplace quando um sistema reparável apresenta a tendência indicada, deverá dar valores da estatística amostral positivos e fora do intervalo de aceitação do teste. Nesta hipótese, o sistema comporta-se como um NHPP em que a taxa de falhas é crescente.

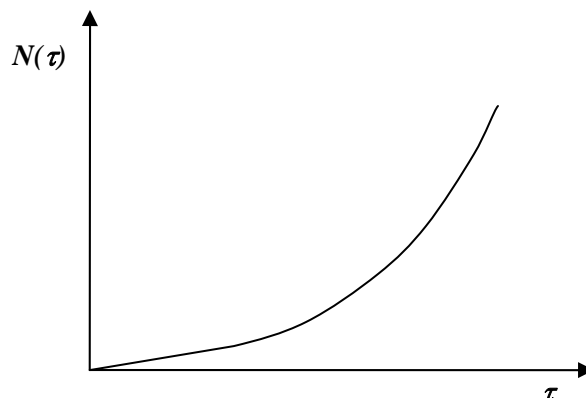


Fig. 2.6 – Representação tipo de um NHPP (sistemas com taxa de falhas crescente)

Segundo Dias (2002), poderão ocorrer três razões principais que potenciem este tipo de comportamento:

- i) a existência de uma causa assinalável, como por exemplo condições de trabalho severas dos equipamentos (temperatura e/ou humidade elevadas), ou a acção de um operador. Estas causas podem provocar a tendência verificada nos dados; neste caso, após correcção da causa fortuita, o sistema deverá apresentar um comportamento aleatório.
- ii) a existência de componentes com função de risco crescente, que influenciam o comportamento do sistema; neste caso, uma intervenção de manutenção nos referidos componentes pode ser a solução mais adequada.
- iii) quando o sistema atinge o termo de duração útil. Aqui deixa de fazer sentido modelar o seu comportamento.

2.3.2.1.2.1 Modelo de Crow

Crow (1974) desenvolveu e aplicou um modelo a vários sistemas reparáveis, o qual ficou vulgarmente conhecido por modelo de Crow; consiste numa reformulação do modelo de Duane, de forma a permitir testes estatísticos e a definição de intervalos de confiança.

Suresh *et al.* (1996) fazem uma aplicação do modelo de Crow ao Processo de Weibull. Segundo estes autores, o denominado processo é um NHPP onde é aplicado o então designado «Modelo de Fiabilidade Crescente».

Para valores de crescimento nulo, a probabilidade de ocorrerem n_f falhas, depois de um período de tempo τ , será dada pela distribuição de Poisson,

$$P(n_f) = \frac{e^{-m} m^{n_f}}{n_f!}; m = \lambda \tau \quad (2.12)$$

Para uma fiabilidade crescente podemos generalizar um modelo de forma a caracterizar um processo de Poisson não homogéneo com $m = m(\tau)$. Donde resulta o número esperado de falhas acumuladas até τ ,

$$m(\tau) = E\{N(\tau)\} = \lambda^* \tau^{\beta^*} \quad (2.13)$$

Sendo a taxa de falhas dada pela derivada da expressão seguinte,

$$\rho(\tau) = \lambda^* \beta^* \tau^{(\beta^*-1)} \quad (2.14)$$

A estimativa das constantes do modelo pode ser facilmente obtida pela função da máxima verosimilhança. Para dados censurados por tempo, as estimativas de λ^* e β^* são, respectivamente,

$$\hat{\beta}^* = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \ln\left(\frac{T_0}{\tau_i}\right)} \quad (2.15)$$

$$\hat{\lambda}^* = \frac{n_f}{T_0^{\beta^*}} \quad (2.16)$$

Onde T_0 representa o tempo total de duração do ensaio e τ_i o tempo de duração no momento da n_i falha do sistema reparável.

2.3.2.2 Modelos tipo II

Quando se pretende analisar a influência de múltiplas covariáveis, e as técnicas dos processos pontuais não são aplicáveis, é necessário utilizar um tipo de análise de regressão que forneça uma função de distribuição de base para o sistema, permitindo a avaliação das variáveis explicativas que estão associadas aos tempos entre falhas. Podem então distinguir-se dois tipos de modelos:

- i) Modelos de Regressão Loglinear (LRM)
- ii) Modelos de Riscos Proporcionais (PHM)

Kalbfleisch & Prentice (1980) e Lawless (1982) analisam estes modelos com grande rigor e detalhe matemático.

2.4 Análise RAMS

A aplicação RAMS traduz-se na utilização e na sistematização de uma série de técnicas e de metodologias complementares, que procuram acrescentar valor a um sistema reparável através do incremento de sua fiabilidade, manutibilidade, disponibilidade e segurança. A aplicação dos factores RAMS preenche todo o ciclo de duração dos sistemas reparáveis; desde a sua concepção, em que se estabelecem os factores RAMS inerentes, passando pela fabricação e pelo controlo de qualidade, até à operação e manutenção, em que se tentam manter os factores RAMS inerentes.

De salientar que a incorporação dos factores RAMS ao longo do ciclo de duração dos sistemas reparáveis promove a ocorrência de sinergias na sua aplicação; no entanto, esta incorporação, isoladamente, e numa fase do ciclo é viável e vantajosa, como se demonstrará mais adiante com a aplicação, no caso em estudo, à operação e à manutenção de uma instalação extractora de oleaginosas.

Esta abordagem permite identificar pontos fracos nas diversas fases do ciclo de duração, quer por via da análise durante a fase de concepção, quer por via da informação gerada nas inspecções e nas intervenções de manutenção na fase de exploração.

A concretização da abordagem RAMS, segundo Silva (2005), é suportada: por um lado, pela gestão do cadastro dos itens críticos; por outro, pelo plano integrado de manutenção, qualidade e exploração, que constitui uma previsão de toda a actividade dos sistemas ao longo do ciclo de duração. A figura (2.7) sintetiza os passos gerais de concretização de uma abordagem integrada deste tipo,

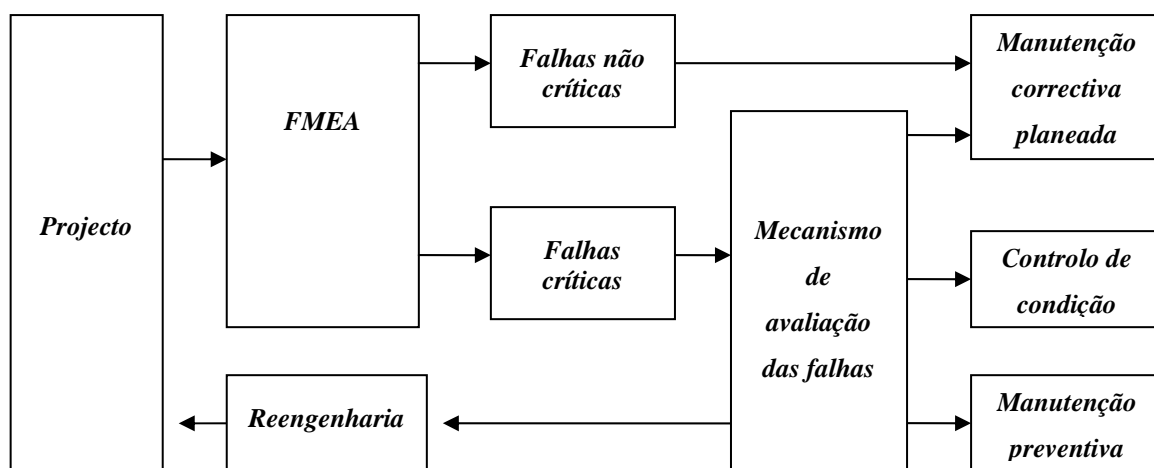


Fig. 2.7 – Abordagem integrada RAMS (Fonte: Silva, 2005)

2.4.1 Factores RAMS

A fiabilidade, a manutibilidade, a disponibilidade e a segurança ocupacional dos sistemas constituem os factores RAMS que se relacionam em termos causais ao longo da duração dos sistemas reparáveis, como se pode sintetizar a seguir na figura (2.8),

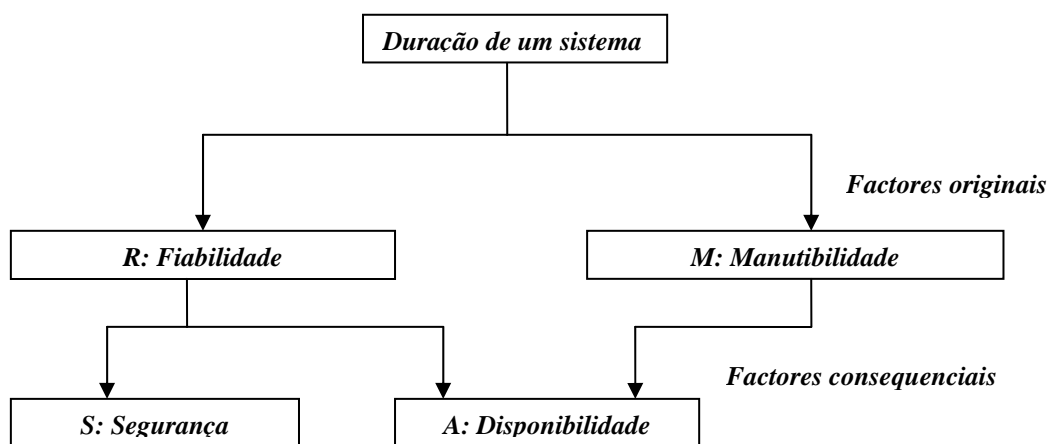


Fig. 2.8 – As relações entre os factores RAMS (Fonte: Leocádio, 2004)

Em termos conceptuais, podem-se agrupar os factores RAMS, da seguinte forma (Leocádio, 2004):

1. Factores originais dos sistemas reparáveis: fiabilidade e manutibilidade;
2. Factores consequenciais dos sistemas reparáveis: disponibilidade e segurança.

A fiabilidade e a manutibilidade são factores que estão associados à criação dos sistemas, isto é, são definidos e estabelecidos durante a fase da sua concepção e design. A optimização destes factores durante a operação dos sistemas reparáveis é normalmente onerosa; no entanto, as suas manifestações apenas se verificam durante a fase de operação.

Sendo a disponibilidade dos sistemas reparáveis consequência da sua fiabilidade e da sua manutibilidade, a influência da fiabilidade surge através da taxa de falhas dos próprios sistemas, $\lambda(t)$ ou do tempo médio entre falhas (ou de bom funcionamento), MTBF.

Naturalmente, quanto maior for o número de falhas de um sistema reparável, com implicações na sua paragem, menor será a sua disponibilidade. Por outro lado, quanto menor for a sua manutibilidade, maior será o tempo necessário para a reposição da sua funcionalidade, o Tempo Técnico Médio de Reparação (MTTR); por conseguinte, menor será a sua disponibilidade em caso da falha implicar uma paragem na operação do sistema.

Embora a caracterização dos factores RAMS de um sistema reparável seja inerente à fase de concepção e design, a manutenção realizada é um aspecto crítico ao longo da sua duração. Nesse sentido, as intervenções de manutenção preventiva e a melhoria dos sistemas devem ser devidamente planeadas, calendarizadas e realizadas. Mais adiante serão abordadas em pormenor.

2.4.1.1 Definição de Fiabilidade

O pressuposto da fiabilidade dos sistemas reparáveis foi amplamente desenvolvido na secção «Estatística das Falhas», no entanto, é importante indicar a forma típica de evolução da fiabilidade da maioria dos sistemas reparáveis.

A evolução da fiabilidade de um sistema pode ser associada à evolução da taxa de falhas ao longo da sua duração útil. A figura (2.9) ilustra a forma típica da evolução da taxa de falhas através do tempo de duração do sistema. É uma função densidade de probabilidade em função do tempo e não uma característica de desempenho real do sistema.

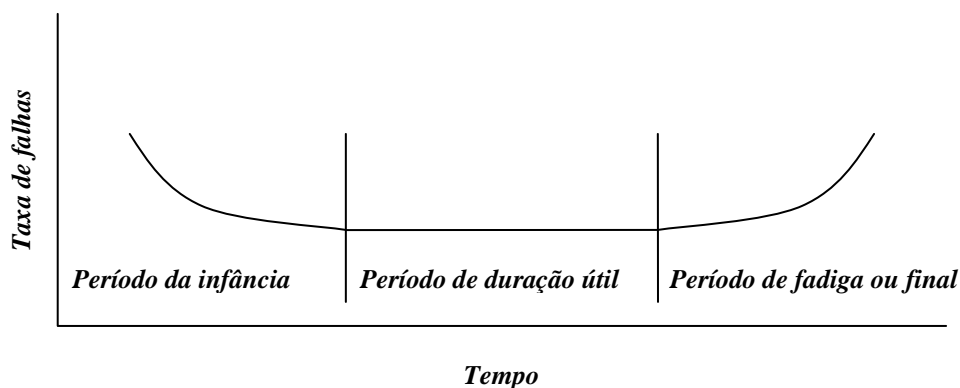


Fig. 2.9 – Variação da taxa de falhas em função da duração de um sistema (Fonte: Leocádio, 2004)

Pela sua forma típica, esta curva é normalmente conhecida na gíria da manutenção como «Curva de Banheira», sendo composta por três fases distintas:

- ✓ *Fase inicial ou da infância* – é caracterizada pelas falhas que ocorrem no início de actividade de qualquer sistema, estando relacionadas com: problemas de design, de fabrico (e. g., materiais inadequados) ou de instalação; testes de qualidade pouco rigorosos; procedimentos de trabalho inadequados; problemas de formação do pessoal;
- ✓ *Fase de duração útil* – é caracterizada por uma taxa de falhas constante. A origem das falhas neste período deve-se, essencialmente, a factores como: o excesso de carga; a negligência na utilização dos sistemas; as causas imprevisíveis (falhas aleatórias);
- ✓ *Fase de fadiga ou final* – é caracterizada por um aumento rápido da taxa de falhas com o tempo. As falhas são habitualmente devidas a envelhecimento e desgaste. Esta fase adivinha o fim de duração do sistema.

Embora a figura anterior exiba a taxa de falhas mais comum na maioria dos sistemas, outros tipos podem exibir variações à «Curva de Banheira». É o caso dos sistemas electrónicos e dos sistemas mecânicos típicos: aos primeiros está normalmente associada uma

duração útil relativamente longa, e aos segundos uma duração útil bastante breve. Nos mecânicos, através de acções de manutenção preventiva ou de melhoria, pode conseguir-se alargar o período de duração útil.

2.4.1.2 Definição de Manutibilidade

A função manutibilidade é, por definição, a probabilidade de um sistema ser reparado ao fim de um dado tempo para desempenhar a sua função após falha; para tal, as operações de manutenção devem ter sido realizadas segundo as condições e com os meios previstos (Hoyland & Rausand, 2002). Ou seja, sendo o Tempo Técnico de Reparação (TTR) a variável métrica, traduz-se em,

$$M(t) = \text{Prob}(TTR < t) \quad (2.17)$$

Logo, se for conhecida a função densidade de probabilidade, $g(t)$, a função manutibilidade pode ser encontrada pela expressão seguinte,

$$M(t) = \int_0^t g(u) du \quad (2.18)$$

É frequente utilizar-se a distribuição de *Weibull* para modelar os tempos de reparação. Utilizando a equação (2.7) na equação (2.18), resulta a função manutibilidade

$$M(t) = 1 - e^{\left(-\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.19)$$

Segundo Dhillon (2002), a distribuição exponencial é largamente utilizada para modelar os tempos de reparação. Considera que as taxas de reparação são constantes, e daí a obtenção dos tempos técnicos médios de reparação que utiliza na expressão da função densidade de probabilidade, a seguir indicada,

$$g(t) = \frac{1}{TTMR} e^{-\frac{t}{TTMR}} \quad (2.20)$$

Utilizando a equação (2.20) na equação (2.18), resulta a função manutibilidade para as reparações modeladas pela distribuição exponencial,

$$M(t) = 1 - e^{-\frac{t}{TTMR}} \quad (2.21)$$

De notar que a equação (2.19) se transforma na equação (2.21) substituindo os parâmetros de forma e escala do seguinte modo: $\beta = 1$ e $\theta = MTTR$. Daqui se conclui que a formulação de Dhillon limita a função manutibilidade, utilizando a distribuição exponencial negativa. Por outro lado, também considera que as taxas de reparação são constantes, situação que normalmente acontece com pouca frequência na prática. Assim sendo, deve-se utilizar preferencialmente a distribuição de *Weibull* para a modelação dos tempos de reparação.

Na prática, o indicador *MTTR* (Tempo Técnico Médio de Reparação) é, provavelmente, o parâmetro mais utilizado para quantificar a manutibilidade. Este indicador mede o tempo necessário para o desenvolvimento das actividades de manutenção, e pode ser expresso da seguinte forma,

$$TTMR = \frac{\sum TTR_i}{n_i} \quad (2.22)$$

Onde,

TTR_i – duração da reparação do componente a reparar, i para $i=1, 2, 3, \dots$

λ_i - Número de falhas do componente i para $i=1, 2, 3, \dots$

Segundo Ferreira (1998), os tempos técnicos de reparação são compostos pelo somatório dos seguintes tempos técnicos parcelares:

- ✓ tempo para verificar se a avaria existe de facto (eliminação do falso alarme);
- ✓ tempo de diagnóstico;
- ✓ tempo de acesso ao órgão avariado;
- ✓ tempo de substituição e/ou reparação;

- ✓ tempo de montagem;
- ✓ tempo de controlo e de arranque do sistema.

Devendo retirar-se da «manutenção activa» os seguintes tempos:

- ✓ tempo de espera por indisponibilidade dos técnicos, equipamentos, ferramentas, etc.;
- ✓ tempos mortos por causas várias: paragem de trabalho, burocracia, etc.

Smith (2001), acrescenta que existem diversos dados que devem ser considerados no registo das intervenções efectuadas pela manutenção. Devem dar resposta, nomeadamente, aos seguintes pontos:

- ✓ tempo de técnico de reparação, decomposto;
- ✓ tipo de falha (primária ou secundária, induzida ou aleatória);
- ✓ natureza da falha;
- ✓ localização da falha;
- ✓ condições funcionais;
- ✓ acção correctiva implementada;
- ✓ pessoal envolvido;
- ✓ equipamento e peças de reserva utilizadas;
- ✓ tempo de operação do sistema, etc.

Estes dados recolhidos podem servir para diversas aplicações, sendo as principais: a retroacção, que resulta na implementação de modificações para prevenir outras falhas do mesmo tipo; a aquisição de dados estatísticos de fiabilidade e reparação.

A manutibilidade de um sistema é um factor decisivo para manter a sua disponibilidade ao longo do ciclo de duração. Sendo essencialmente uma característica de projecto, e se for tomada em devida consideração, é possível, segundo Ferreira (2002),

enumerar os benefícios obtidos durante o ciclo de duração do sistema reparável de acordo com o quadro (2.1),

Quadro 2.1 – Benefícios durante o ciclo de duração dos sistemas reparáveis de fácil manutibilidade (Fonte: Ferreira, 2002)

<i>Projecto tendo em vista a manutibilidade</i>	<i>Benefícios obtidos</i>
Fácil acesso aos componentes	Redução do tempo e dos custos de manutenção Aumento da disponibilidade do equipamento Fadiga reduzida dos agentes e maior segurança na intervenção
Sem ajustes ou com ajustes mínimos	Redução do tempo e dos custos de manutenção Aumento da disponibilidade do equipamento Menor formação do pessoal
Componentes e módulos facilmente substituíveis	Fadiga reduzida dos agentes e maior segurança na intervenção Aumento da disponibilidade do equipamento Identificação mais fácil dos problemas
Evitar erros e módulos ou componentes só com uma possibilidade de montagem	Diminuição da probabilidade de o componente falhar Aumento da fiabilidade Menor formação do pessoal
Auto-diagnóstico ou indicadores para encontrar falhas rapidamente	Redução do tempo e dos custos de manutenção Aumento da disponibilidade do equipamento Aumento da satisfação dos utilizadores
Inexistência ou número mínimo de ferramentas especiais	Investimentos reduzidos em manutenção Aumento da satisfação dos utilizadores Número reduzido de ferramentas de manutenção
Componentes de «catálogo»	Stock reduzido de sobressalentes Custo reduzido do equipamento Redução de tempo e dos custos de manutenção
Reduzir o número de componentes ao mínimo	Custo reduzido do equipamento Aumento da fiabilidade Stock reduzido de sobressalentes

2.4.1.3 Definição de Disponibilidade

Ferreira (1998) define a disponibilidade como sendo a probabilidade de bom funcionamento de um sistema em determinado momento t . Assim, um sistema disponível é o que é capaz de realizar as suas funções. A disponibilidade depende:

- ✓ do número de falhas do sistema, quantificado através da taxa de falhas, λ ;
- ✓ do tempo das reparações das falhas do sistema, calculado através da taxa de reparações, μ ;
- ✓ do tipo de acção de manutenção, definido pela estratégia de manutenção;
- ✓ da qualidade dos meios à disposição e da sua interdependência, relacionados com os aspectos da logística.

A figura (2.10) ilustra a forma como se estabelece a influência da fiabilidade e da manutibilidade na disponibilidade dos sistemas reparáveis (Ferreira, 1998),

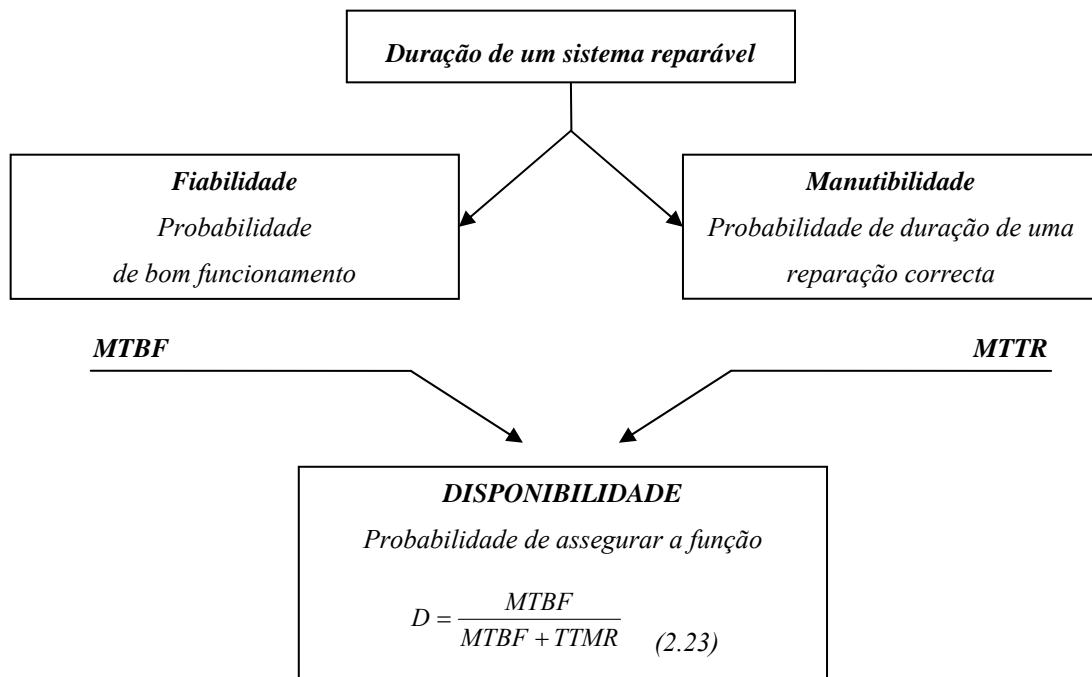


Fig. 2.10 – Relação entre a fiabilidade/manutibilidade e a disponibilidade do sistema
(Fonte: Ferreira, 1998)

Ainda segundo Ferreira (1998), a disponibilidade pode ser definida de um modo mais geral pela expressão (2.24). Nela se inclui também a média dos tempos de manutenção preventiva, quando provocam imobilização do funcionamento do sistema reparável (MTMP),

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + TTMR + MTMP} \quad (2.24)$$

Donde se conclui que para se aumentar a disponibilidade de um sistema é necessário reduzir o número de paragens por falha (fiabilidade) e reduzir os tempos de reparação (manutibilidade).

2.4.1.4 Definição de Segurança

A segurança é uma actividade interdisciplinar e plurisectorial, que se ocupa da identificação e da avaliação dos riscos inerentes a cada actividade específica. Tem como objectivo a eliminação, a minimização e o controlo dos riscos, (Miguel, 1998). Pode ser classificada em duas grandes vertentes:

- ✓ «*Safety*» ou segurança ocupacional, que estuda a prevenção de acidentes (objecto do presente trabalho).
- ✓ «*Security*» ou segurança física, que aborda a prevenção contra roubo e intrusão, actos de sabotagem, missão de policiamento.

2.4.1.4.1 Modelo dos acidentes organizacionais

Reason (1997) destacou-se nas áreas do erro humano e dos acidentes com a elaboração do modelo dos acidentes organizacionais, apresentado na figura (2.11). O referido modelo rastreia a sequência do acidente, desde as remotas condições organizacionais e de gestão até aos factores do próprio local de trabalho; por seu lado, estes interagem com o factor humano resultando erros e violações – a que o autor chama de «actos inseguros».

Jacinto (2005) explica o modelo de forma clara e sucinta no seu trabalho, caracterizando os diversos níveis da análise da seguinte forma:

Os «actos inseguros», em conjunto com as falhas no equipamento e as defesas inadequadas (barreiras de segurança contra os perigos), são as causas «próximas» (directas) do acidente –, ou seja, são as falhas activas que constituem as causas mais imediatas e visíveis da ocorrência. As falhas activas de origem humana estão quase sempre associadas a acções erróneas dos trabalhadores da chamada «linha da frente», como por exemplo, a pessoa que usa uma ferramenta errada ou que conduz um empilhador com velocidade excessiva. As falhas activas podem ser influenciadas ou mesmo desencadeadas por outros factores, os chamados «factores influenciadores».

Por outro lado, a existência de falhas ou condições latentes facilita actos inseguros, que abrem brechas nas barreiras de segurança do sistema de trabalho. Daí podem resultar perdas que variam entre as provocadas por um pequeno acidente até às provocadas por uma «catástrofe». As falhas latentes são criadas por pessoas cujas tarefas se encontram distantes (no tempo e espaço) das actividades operacionais, tais como projectistas ou gestores. Tipicamente, as falhas latentes encontram-se no âmbito dos factores ou condições organizacionais e de gestão. São exemplos: a má concepção das instalações e dos equipamentos; a comunicação e a supervisão deficientes; a formação ineficaz ou regras e responsabilidades pouco claras e «difusas».

As defesas podem ser divididas em duas grandes categorias: físicas e administrativas. Como exemplos de barreiras físicas, poderemos ter vedações, protecções de máquinas, isolamento eléctrico, isolamento sonoro, detectores de gases, sistemas de exaustão ou equipamentos de protecção individual. Se as barreiras físicas falharem, é mais provável que se trate de falhas activas; no caso das administrativas (por exemplo, regras, procedimentos, autorizações de trabalho) estão mais frequentemente associadas a falhas latentes. As falhas nas defesas podem contribuir para o acidente de muitos modos: porque as defesas não existem; porque os utilizadores não as conhecem; porque são mal utilizadas; porque foram mal concebidas (dificuldade de uso, por exemplo); porque são insuficientes.

O modelo contempla três níveis de preocupação: a organização, o local de trabalho e o indivíduo (ou equipa). Quando o modelo é invertido, seguindo as setas de cima para baixo, pode servir de base para um método prático de investigação de acidentes.

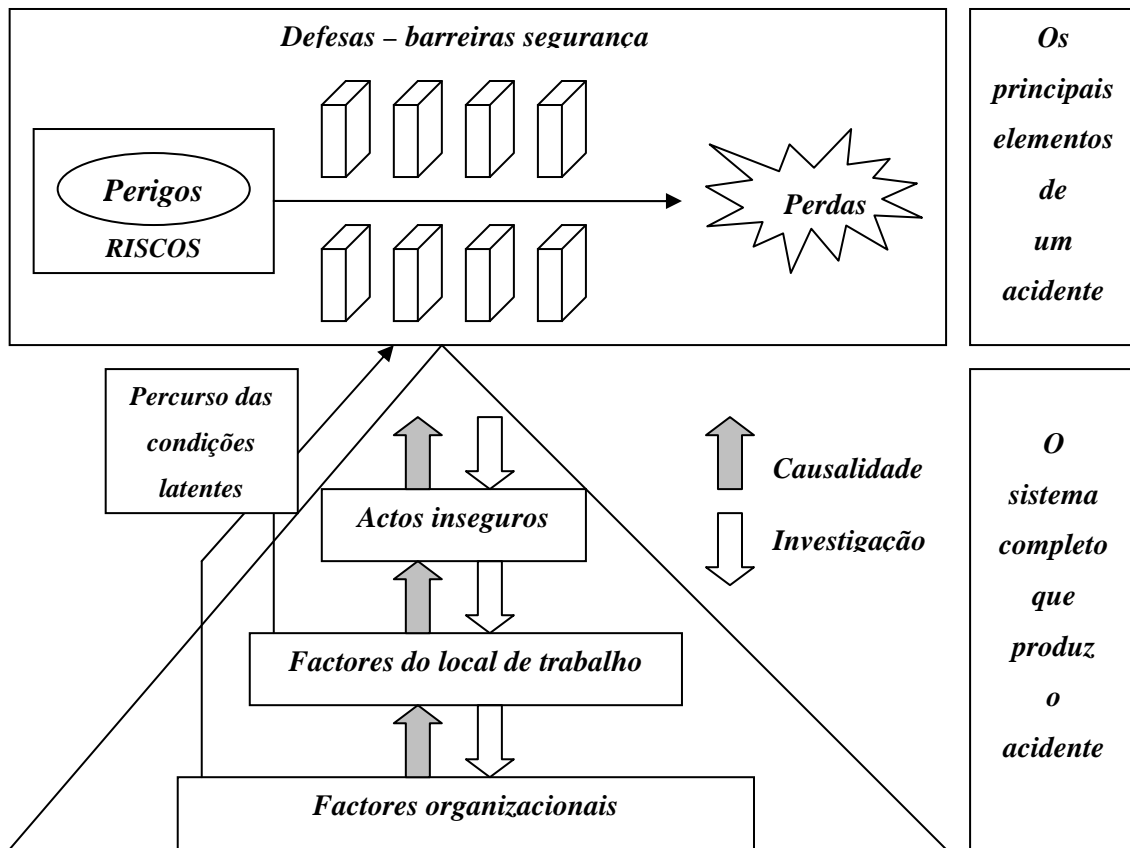


Fig. 2.11 – Modelo de Reason de causalidade dos acidentes organizacionais (Fonte: Jacinto, 2005)

Em todos os casos, a decisão de não obedecer às regras de segurança é influenciada, quer por factores pessoais quer organizacionais, embora o peso relativo de cada um destes dois tipos de factores seja diferente consoante o tipo de violação.

Existem três grandes categorias de violações de segurança: violações de rotina; violações de optimização; violações necessárias. Considera-se, regra geral, uma violação como sendo um desrespeito pelas regras, procedimentos ou normas de segurança preestabelecidas. As violações deliberadas são feitas conscientemente, mas sem má intenção, ou seja, não são actos malévolos, e devem ser distinguidos de actos de sabotagem (nos quais tanto a acção como os danos foram intencionais e premeditados).

Violações de rotina – normalmente implicam «ir por atalhos», seguir o caminho mais curto ou mais fácil para executar uma tarefa. Estes atalhos podem tornar-se atitudes habituais das pessoas, particularmente em ambientes de trabalho permissivos, que toleram os

comportamentos de risco e não apliquem sanções para o incumprimento das regras de segurança. Muitas vezes, as violações de rotina são incentivadas por procedimentos confusos ou mal formulados, ou por normas de trabalho excessivamente apertadas, que dão ao trabalhador a sensação de complicação desnecessária. Um exemplo típico é a desactivação da protecção de uma máquina (barreira de segurança), porque isso torna um pouco mais fácil e mais rápida a execução da tarefa.

Violações de optimização – podem também resultar de acções cuja motivação se explique pelos termos: «pelo prazer» ou «pela emoção» de o fazer. Estas violações reflectem o facto de as acções humanas satisfazerem uma variedade de motivações diferentes, algumas delas não relacionadas com aspectos funcionais da tarefa. Esta tendência para otimizar outros objectivos externos à tarefa pode fazer parte do «estilo próprio» de cada indivíduo.

Violações necessárias – neste caso, o incumprimento é visto como essencial para se conseguir realizar o trabalho. Enquanto as violações de rotina e de optimização estão directamente ligadas a objectivos pessoais (menor esforço ou «prazer»), as violações necessárias têm origem em situações particulares do trabalho. Tipicamente são provocadas por fraquezas organizacionais (por exemplo, urgência, falta de pessoal, equipamento não disponível, trabalho em condições atmosféricas extremas).

Para além de Reason, existem outros autores com importantes trabalhos científicos na área cognitiva e da análise do erro humano, dos quais se destaca Hollnagel (1998).

2.4.1.4.2 Influência do stresse no desempenho humano

O desempenho humano depende de diversos factores, sendo os mais importantes: a reacção individual perante o stresse; o tempo de trabalho; a fadiga; a interacção e a identificação com o grupo; a reacção individual perante a pressão social; os trabalhos repetitivos; a expectativa para com os supervisores; a expectativa para com a eficiência do grupo; a expectativa para com o tempo ocioso.

Em particular, o stresse é provavelmente o factor circunstancial que mais afecta o desempenho humano. Ao longo de diversos anos, investigadores estudaram a relação entre o desempenho humano e o grau de stresse/ansiedade. O resultado desse trabalho está sintetizado

graficamente na figura (2.12),

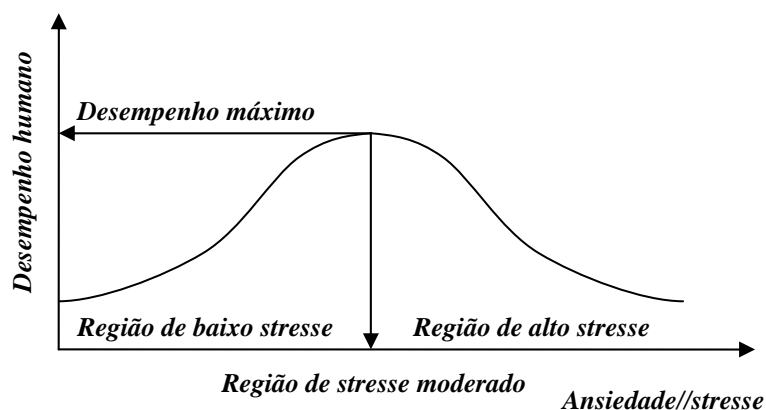


Fig. 2.12 – Curva hipotética do desempenho humano vs. stresse/ansiedade (Fonte: Beech *et al.*, 1982)

A curva indica que um nível moderado de stresse é necessário, para aumentar o desempenho humano até ao seu valor máximo. Outra conclusão importante que se pode retirar da figura (2.12) é a de que, até se atingir a região de stresse moderado, e à medida que este aumenta, o desempenho humano melhora. A partir de determinado grau de stresse (região de stresse moderado) o desempenho humano piora com o seu incremento.

Na região de baixo stresse, as tarefas a executar tornam-se pouco motivadoras; por outro lado, quando o nível de stresse ultrapassa a região de stresse moderado, o desempenho humano decresce, resultando esse decréscimo de diversos factores tais como: o medo; a aflição; outros tipos de pressão psicológica.

Existem diversos factores que contribuem para fazer aumentar o stresse nos trabalhadores e, por sua vez, reduzir o seu desempenho, tais como:

- ✓ insatisfação com o trabalho;
- ✓ problemas financeiros sérios;
- ✓ instabilidade temperamental de alguns trabalhadores, que influencia os outros;
- ✓ fracas oportunidades de promoção no local de trabalho;
- ✓ proximidade de uma situação de despedimento;

- ✓ inexperience e falta de capacidades por parte dos trabalhadores;
- ✓ realização de tarefas com prazos de execução muito curtos;
- ✓ existência de problemas de saúde;
- ✓ excessivas solicitações superiores;
- ✓ realização de demasiados trabalhos pendentes em casa para se conseguir cumprir os compromissos;
- ✓ problemas familiares.

Quando um trabalhador apresenta limitações na condução de determinadas tarefas, e as exigências estão para além das suas capacidades, a probabilidade de ocorrência de erros aumenta. Para melhorar a sua fiabilidade, algumas limitações ou características de stresse devem ser consideradas cuidadosamente na fase de definição de funções.

Segundo Meister (1966), podemos caracterizar um trabalhador com stresse do seguinte modo: decide excessivamente depressa; por vezes tem dificuldade em separar as tarefas prioritárias das não prioritárias; obtém fracos resultados do esforço dispendido; executa uma sequência excessivamente longa de passos para dar cumprimento a uma tarefa; apresenta satisfação por desenvolver muito rapidamente várias tarefas ao mesmo tempo.

2.4.1.4.3 Erro humano

Finalmente, os erros humanos podem ocorrer em resultado de múltiplas razões intrínsecas a cada indivíduo, como se apresenta na figura (2.13),

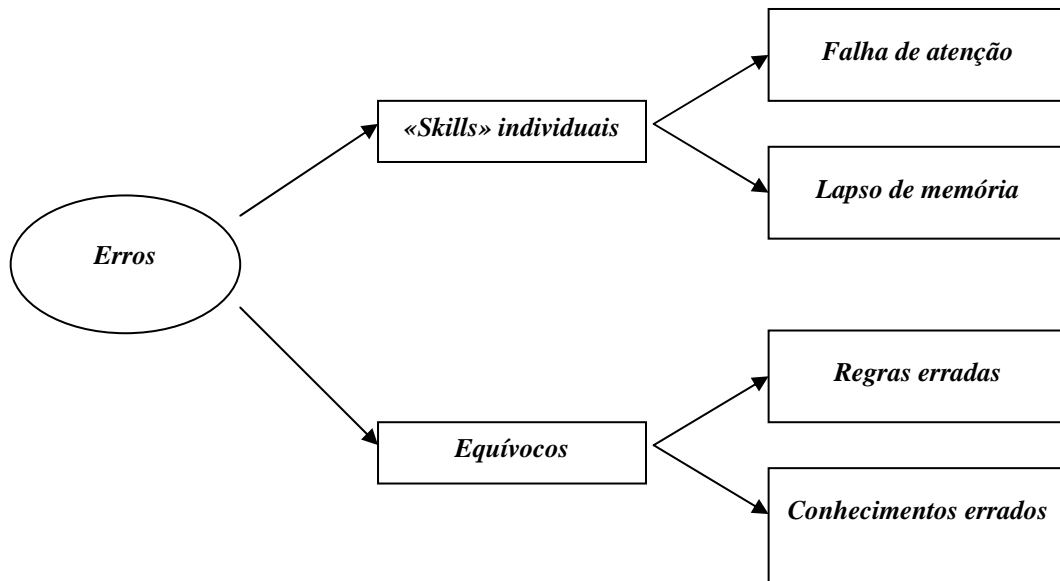


Fig. 2.13 – Sumário dos principais erros humanos típicos (Fonte: Dhillon, 2002)

I. Tipos e causas de erros humanos na manutenção

Os erros humanos podem ocorrer de diversas formas e a sua ocorrência pode ser classificada de acordo com as seis categorias apresentadas na figura (2.14). São classificados em: erros de decisão; erros de acção; erros de comunicação; erros de *checking*; erros de diagnóstico; erros de informação baseada no histórico de falhas.

Os erros de decisão ocorrem quando é tomada uma decisão errada após análise da situação; os erros de acção são o resultado de não se agir, de uma acção incorrecta ou de uma acção correctamente executada de um item mal seleccionado; os erros de comunicação ocorrem quando a informação deveria ser comunicada a outros e o não foi, ou quando se comunica de forma incorrecta ou a um destinatário errado; os erros de *checklist* ocorrem quando os sistemas requerem o cumprimento de uma lista de verificações e esta é executada de forma incorrecta, quando se omite informação ou quando se aplica uma informação correctamente em itens errados; os erros de diagnóstico são o resultado da interpretação errada da situação anómala do equipamento; os erros de informação baseada no histórico de falhas sucedem quando a informação da memória é incorrectamente transmitida, ou quando é omitida.

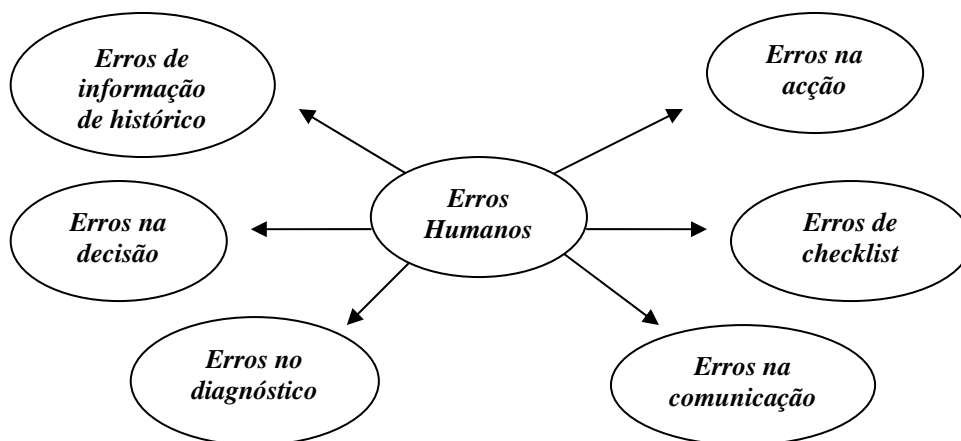


Fig. 2.14 – Categorias de erros humanos (Fonte: Dhillon, 2002)

Em geral, podem existir numerosas causas para a ocorrência de erros humanos na manutenção. De acordo com Dhillon (1999), estes podem resultar:

- ✓ da fraca motivação do pessoal;
- ✓ da formação deficiente ou da falta de talento do pessoal;
- ✓ da concepção dos equipamentos que torna difícil a manutenção;
- ✓ de procedimentos de operação e de manutenção dos equipamentos inadequados ou de má qualidade;
- ✓ de condições de trabalho difíceis: fraca iluminação; alta/baixa temperatura ambiente; nível elevado de ruído; espaço de trabalho muito limitado, etc.;
- ✓ de ferramentas de trabalho inadequadas;
- ✓ de tarefas de execução demasiado complexas;
- ✓ do *layout* dos equipamentos e das instalações inadequados.

II. Medidas de redução do erro humano na manutenção

Dhillon (2002) preconiza várias medidas para prevenir a ocorrência de erros durante a execução das intervenções de manutenção.

No âmbito da realização das tarefas de manutenção, aponta três medidas:

- ✓ ter o cuidado de interromper o normal funcionamento dos sistemas para executar as inspecções de manutenção;
- ✓ rever formalmente a adequação das acções de segurança inerentes às intervenções de manutenção;
- ✓ evitar ao máximo a execução, em simultâneo, da mesma intervenção de manutenção em diversos equipamentos redundantes similares.

Quanto ao acondicionamento de ferramentas e de equipamentos, este deve ser de maneira a facilmente se perceber se foram deixados inadvertidamente em sítios onde podem causar danos ou acidentes. Por exemplo, lanternas utilizadas e deixadas no interior de um equipamento durante uma intervenção da manutenção.

No âmbito da formação de competências dos profissionais de manutenção, Dhillon refere duas medidas a tomar;

- ✓ proporcionar-lhes conhecimentos básicos de gestão;
- ✓ proporcionar-lhes formações periódicas focadas nos procedimentos internos.

Considera duas medidas importantes no âmbito do projecto dos equipamentos, que consistem em assegurar que os fabricantes: dão a devida atenção à formação dos factores humanos; procuram o máximo de informação sobre os erros que ocorrem durante as intervenções para serem previstos no projecto.

A medida na área da supervisão consiste em reconhecer que esta deve ser eficiente, particularmente nas horas mais tardias em que a ocorrência de erros se torna mais fácil.

Na área da comunicação, deve assegurar-se que toda a informação importante está no devido lugar e é de fácil acesso aos profissionais da manutenção, para que alterações de procedimentos ou os erros repetidos sejam correctamente tratados.

2.4.1.4.4 Segurança nas tarefas de manutenção

Existem diversas razões que originam problemas de segurança na manutenção. Algumas das mais importantes, enunciadas por Dhillon (2002), estão na figura (2.15),

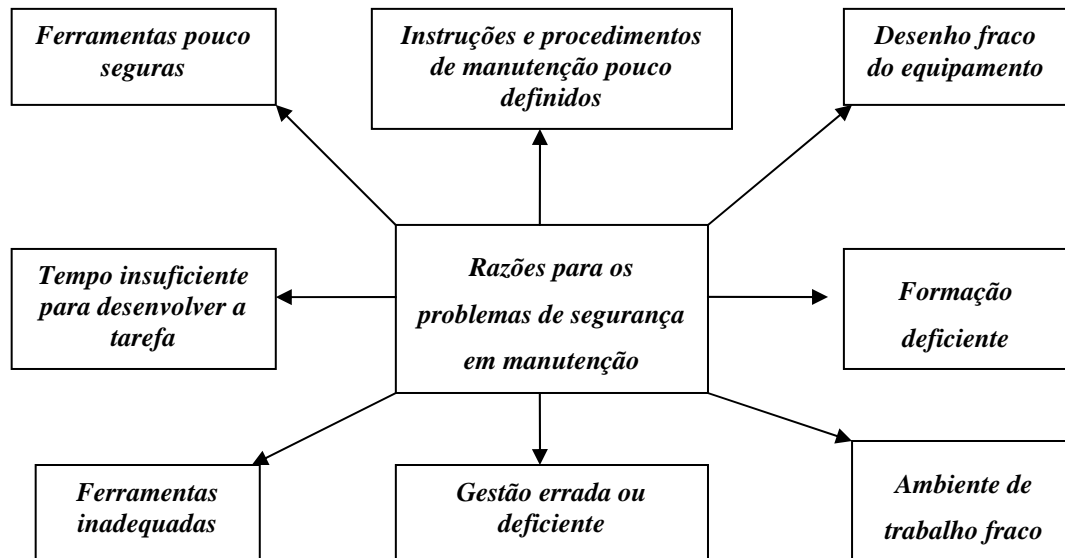


Fig. 2.15 – Principais razões para os problemas de segurança na manutenção (Fonte: Dhillon, 2002)

Paralelamente às razões enunciadas, as próprias tarefas de manutenção são perigosas ou incluem soluções perigosas, sendo por vezes o próprio trabalho de manutenção uma causa dos problemas de segurança relatados. Alguns aspectos do trabalho de manutenção são de cariz pouco seguro, como se pode ver a seguir:

- ✓ numerosas tarefas de manutenção ocorrem sem estarem previstas, devido a falhas aleatórias dos equipamentos; isto faz que exista pouca oportunidade para discernir os problemas de segurança relatados da intervenção de «socorro»;
- ✓ quando se desconhece o meio onde se desenvolvem as tarefas de manutenção podem ocorrer perigos imprevistos, como por exemplo, a existência de corrimãos enferrujados, de descontinuidades do piso sem resguardo, de armaduras eléctricas partidas;
- ✓ dificuldades de comunicação entre técnicos de manutenção durante as intervenções;

- ✓ algumas intervenções podem requerer desenvolvimento de tarefas, tais como a desmontagem de peças enferrujadas ou de peças de grande porte em espaços confinados;
- ✓ intervenções de manutenção imprevistas, sem possibilidade de trabalho de preparação adequado;
- ✓ desenvolvimento de intervenções de manutenção no interior de equipamentos como, por exemplo, em máquinas de rotação, no interior de condutas de ar ou em depósitos pressurizados;
- ✓ desenvolvimento de intervenções de manutenção a horas tardias e em locais remotos;
- ✓ transporte de materiais pesados e volumosos do armazém para o local de intervenção de forma desajustada.

I. Medidas de melhoria de segurança nos equipamentos

Um modo de melhorar a segurança na manutenção consiste em minimizar a sua necessidade durante a fase de projecto dos equipamentos. Se a necessidade de manutenção não puder ser eliminada, os projectistas deverão seguir as seguintes linhas orientadoras:

- ✓ simplificar ao máximo possível a concepção dos equipamentos. A complexidade dos projectos dos equipamentos acrescenta geralmente problemas de manutenção;
- ✓ fornecer esquemas de reparação para evitar intervenções incorrectas;
- ✓ desenvolver os projectos dos equipamentos de modo a minimizar os erros de manutenção;
- ✓ minimizar ou eliminar a necessidade de ferramentas especiais;
- ✓ incorporar dispositivos nos equipamentos para permitir a detecção atempada de falhas potenciais;

- ✓ projectar os equipamentos com fácil acesso aos componentes que necessitam de ser inspeccionados ou substituídos;
- ✓ desenvolver os projectos dos equipamentos de modo a reduzir a probabilidade de acidentes de trabalho provocados por choques eléctricos, pelo contacto com superfícies quentes ou devido a fugas de circuitos pressurizados, etc.;
- ✓ eliminar a necessidade de desenvolver tarefas de manutenção próximo de equipamentos ou de componentes em serviço.

2.4.2 Métrica RAMS

A abordagem dos pressupostos RAMS, com vista à aplicação da manutenção centrada na fiabilidade dos sistemas reparáveis, carece de uma metodologia de ordem prática que, variando de caso para caso, deverá ser estruturada segundo as etapas principais a seguir apresentadas:

- ✓ hierarquização do sistema reparável em subsistemas reparáveis constituintes;
- ✓ caracterização dos diversos tipos de falhas, através da aplicação de diagramas de causa-efeito e de Diagramas de Pareto;
- ✓ análise da ordem cronológica das falhas;
- ✓ análise da duração das falhas;
- ✓ determinação da disponibilidade do sistema e dos subsistemas;
- ✓ definição de criticidade da disponibilidade dos subsistemas;
- ✓ aplicação da metodologia FMEA – Análise Modal de Falhas e Efeitos nos subsistemas reparáveis mais críticos para a definição de criticidade dos órgãos e dos componentes constituintes;

- ✓ planeamento da manutenção preventiva com base na modelação estatística da ordem cronológica e da duração das falhas dos órgãos e dos componentes críticos, complementada com técnicas de manutenção preditiva;
- ✓ optimização dos custos de manutenção preventiva, com base nos custos reais de manutenção correctiva, nos custos de imobilização do sistema reparável e nos custos de manutenção preventiva;
- ✓ análise de risco nas tarefas de manutenção, no sentido de melhoria contínua dos procedimentos e das condições de trabalho.

2.4.2.1 Hierarquização do sistema reparável em subsistemas reparáveis

O primeiro passo na aplicação da metodologia consiste em proceder à recolha e ao registo de informação sobre os sistemas reparáveis; pretende-se com isto decompô-los e codificá-los em diferentes níveis hierárquicos, bem como permitir a disponibilização de um histórico de falhas. No caso de existência de equipamentos novos, proceder ao registo dos índices de fiabilidade e de manutibilidade garantidos pelo fabricante.

Para se proceder à realização desta etapa, é necessário reunir os seguintes elementos: os desenhos do projecto; os esquemas do sistema; os diagramas funcionais; as descrições do sistema; o histórico das falhas dos equipamentos ou de outros iguais ou semelhantes, tanto na estrutura como nas funções; a lista dos componentes; as especificações dos componentes e as informações fornecidas pelos construtores dos equipamentos.

2.4.2.2 Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA)

Trata-se de uma técnica essencialmente preventiva, que visa assegurar que todos os modos de falha, bem como os respectivos efeitos e causas, são devidamente identificados e analisados. Desenvolvida pela NASA em meados da década de 1960, é hoje mais utilizada na indústria automóvel.

Os métodos de aplicação da FMEA podem diferir ligeiramente de caso para caso, no entanto, existem fases típicas que são comuns aos vários métodos (Pereira, 2000), as quais se indicam:

- ✓ constituição do grupo de trabalho. A FMEA terá sempre de ser um trabalho colectivo, embora deva existir um elemento responsável pela coordenação. Os elementos do grupo de trabalho devem estar motivados, dispostos a participar e a trabalhar em grupo. É fundamental que o trabalho seja apoiado pela direcção da empresa ou do serviço;
- ✓ recolha e análise da informação. A informação pode ser obtida e analisada a partir da produção, de relatórios de falhas, de inspecções ou de auditorias, ou ainda por comparação com anteriores FMEA;
- ✓ análise funcional. Contempla a identificação e a lista das funções que o sistema deve desempenhar para cumprir o seu papel. Contempla ainda a decomposição do sistema por funções, seguidamente por componentes e novamente por funções;
- ✓ identificação dos modos de falha. Através da análise de como o sistema pode deixar de cumprir as suas funções, isto é falhar, consegue-se identificar os modos potenciais de falhas. Estes devem ser descritos em termos físicos e técnicos (e.g. desgaste, corrosão, deformação, fadiga, etc.). Deve-se prever modos de falha que possam ocorrer sob determinadas condições ambientais, como o calor, o frio, a humidade. A identificação dos modos potenciais de falhas torna-se possível com o recurso a relatórios de falhas, a auditorias, às FMEA anteriores, etc.
- ✓ determinação dos efeitos. Através do estudo dos efeitos dos modos de falha na operação seguinte ou no produto final. Quando aplicável, indicar se o efeito afecta o cumprimento de requisitos legais.
- ✓ análise da gravidade dos efeitos. Permite a atribuição de um índice de gravidade (G) para cada efeito, através da identificação das consequências dessa gravidade para a operação seguinte ou para o produto final;
- ✓ determinação das causas. Ou seja, identificação para cada modo potencial de falha das causas que o podem provocar. São causas mais comuns, as fugas de óleo e a ruptura das tubagens;

- ✓ índice de ocorrência do modo de falha. Através da determinação da probabilidade de, uma vez ocorrida, a causa provocar o modo de falha, é possível atribuir-se um determinado índice de ocorrência (O);
- ✓ índice de não detecção da causa/modo de falha. Através da determinação da probabilidade de, com os meios de controlo implementados (ou a implementar) se conseguir detectar a causa de um modo de falha, é possível atribuir-se um índice de não detecção de causa (D);
- ✓ cálculo e análise do Número de Prioridade de Risco (RPN). Este número é obtido a partir do produto dos índices anteriores. Aplicado a todas as causas potenciais, permite hierarquizar as prioridades de acção. As acções correctivas devem dar prioridade a modos de falha com RPN elevados. No entanto, há a considerar que o RPN pode não ser muito elevado, mas se o índice de gravidade o for, nesse caso, deve-se actuar imediatamente. Por outro lado, é mais útil haver maior esforço na prevenção de ocorrências das causas das falhas do que na sua detecção;
- ✓ elaboração de um plano de acção. Face aos resultados, deve ser elaborado um plano de acção que privilegie a prevenção das falhas;
- ✓ seguimento. Deve existir um responsável pelo acompanhamento e pelo cumprimento do prazo de implementação das acções. Após a sua implementação, deve calcular-se novamente o RPN.

2.4.2.3 Planeamento da manutenção centrada na fiabilidade

A Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM) apareceu pela primeira vez em 1974, como tema de um relatório preparado pela *United Airlines* a pedido do Departamento de Defesa dos Estados Unidos.

Não se trata de uma ferramenta ou técnica da manutenção, mas uma das mais poderosas metodologias para a aplicação das ferramentas da manutenção. Possibilita a análise da criticidade de um componente num sistema reparável e indica os tipos de manutenção mais apropriados para esse sistema (Organ *et al.*, 1997). As componentes da RCM, segundo

Dhillon (2002), estão descritas em detalhe na figura (2.16),

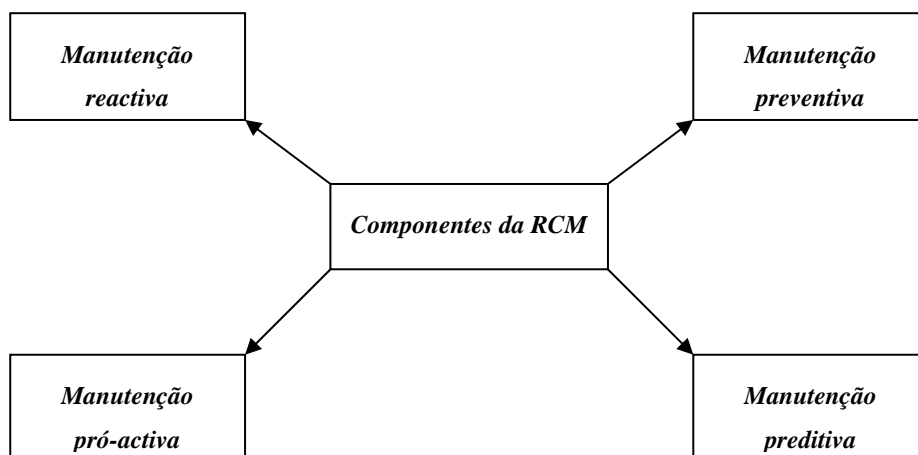


Fig. 2.16 – Componentes da RCM (Fonte: Dhillon, 2002)

2.4.2.3.1 Manutenção reactiva

É um tipo de manutenção também conhecido por correctiva. Quando usado, a reparação ou substituição do sistema só acontece quando a deterioração da sua condição, ou de um componente, resulta em falha funcional. Neste tipo de manutenção é assumido que a probabilidade de ocorrência de falhas é igual em qualquer parte do sistema. Apresentam-se na figura (2.17) os cinco tipos de manutenção correctiva,



Fig. 2.17 – Tipos de manutenção correctiva (Fonte: Dhillon, 2002)

Quando se pratica isoladamente a manutenção reactiva, é típica a existência de um inventário significativo de peças de reserva e uma taxa alta de actividades de manutenção não

planeada. Para além disso, a manutenção reactiva aplicada isoladamente ignora as oportunidades de influenciar a sobrevivência dos sistemas.

Efectivamente, a manutenção reactiva pode ser praticada e assumida como uma decisão baseada em conclusões da análise RAMS, que compara o risco e o custo da falha com o custo da manutenção necessária para os mitigar.

Apresenta-se no quadro (2.2), como exemplo, um critério de um programa de manutenção reactiva na definição da prioridade de reparação de falhas:

Quadro 2.2 – Classificação de prioridades em manutenção reactiva (Fonte: Dhillon, 2002)

<i>Nível de prioridade</i>	<i>Descrição de prioridade</i>	<i>Critério baseado nas consequências de falha do sistema reparável</i>
I	Emergência	Impacto sério e imediato na missão Segurança de pessoas/instalações ameaçadas
II	Urgente	Impacto sério e impeditivo da missão Continuidade da missão ameaçada
III	Prioritário	Efeito adverso significativo para a missão iminente Degradação na qualidade da missão
IV	Rotina	Impacto insignificante para a missão Existência de redundância
V	Discrecionário	Recursos disponíveis Impacto desprezável para a missão
VI	Adiada	Sem recursos Sem impacto para a missão

2.4.2.3.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é desenvolvida em actividades planeadas, sem observação da condição do equipamento. Consiste em inspecções periódicas, reparações, afinações,

calibrações, lubrificações e limpezas planeadas, sintetizadas na figura (2.18), ainda de acordo com Dhillon (2002),

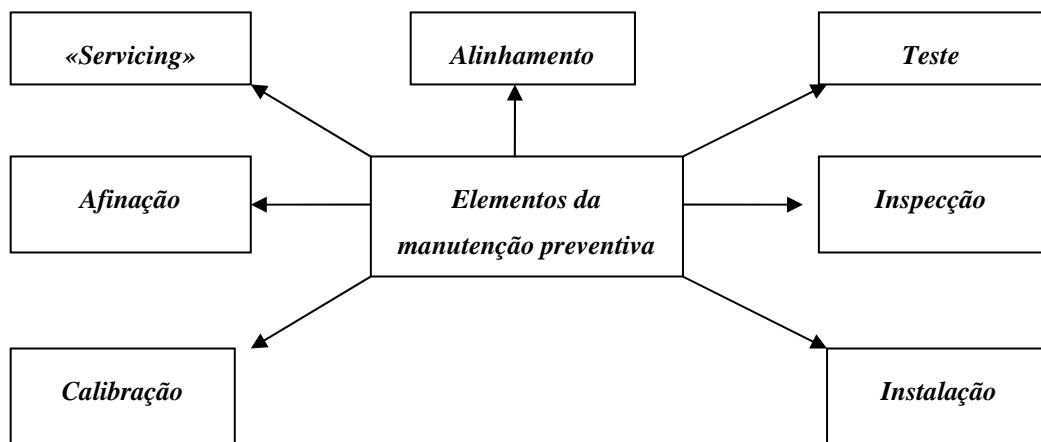


Fig. 2.18 – Elementos da manutenção preventiva (Fonte: Dhillon, 2002)

A manutenção preventiva planeia os intervalos das inspeções e das manutenções de modo a reduzir as falhas dos sistemas. É importante notar que, dependendo dos intervalos predefinidos, a prática da manutenção preventiva pode originar um aumento significativo das inspeções e das manutenções de rotina. Por outro lado, pode ajudar a reduzir a frequência e a severidade de falhas imprevistas. A manutenção preventiva pode ser cara e ineficiente, se for o único tipo de manutenção praticado.

A abordagem mais apropriada para determinar a periodicidade das actividades da manutenção preventiva é através da monitorização da condição do sistema. A continuidade da monitorização, para além de conseguir determinar a condição do sistema a cada momento, consegue indicar a tendência da condição futura.

As abordagens que a seguir se apresentam são úteis para definir as periodicidades das inspeções e das manutenções de rotina:

- ✓ antecipação da falha através da experiência passada. Em determinados casos, o histórico de falhas do sistema, conjugado com a experiência pessoal, pode fornecer, até certo ponto, um conhecimento intuitivo sobre falhas futuras;
- ✓ distribuição estatística de falhas. A distribuição de falhas e a sua probabilidade podem ser conhecidas e utilizadas para decidir a periodicidade das actividades da manutenção preventiva;

- ✓ abordagem conservadora. Através da monitorização periódica do sistema.

Segundo Dhillon (2002), os passos para o desenvolvimento de um programa de manutenção preventiva podem ser descritos de acordo com a figura (2.19),

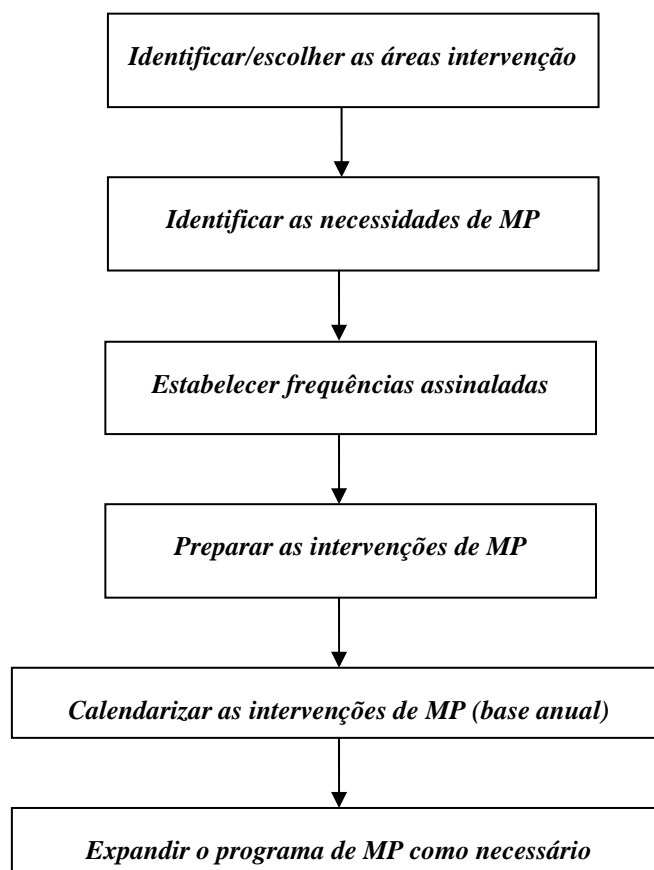


Fig. 2.19 – Desenvolvimento do plano de manutenção preventiva (Fonte: Dhillon, 2002)

2.4.2.3.3 Manutenção preditiva

Para aceder à condição do sistema, a manutenção preditiva recorre aos seus resultados de desempenho, a técnicas de controlo de condição e a inspecções visuais. A manutenção preditiva altera o plano de actividades de manutenção de acordo com a condição do sistema. A análise da condição monitorizada no sistema é útil para planear e calendarizar a reparação em antecipação da falha.

São seis as técnicas de controlo de condição mais utilizadas em sistemas industriais. Encontram-se amplamente desenvolvidas em Mobley (2002).

I. Controlo de vibração

É uma das técnicas de controlo de condição mais utilizadas, que se aplica para se conhecer o estado dos equipamentos rotativos, bem como a estabilidade estrutural nos sistemas. É aplicada a equipamentos ou a componentes como, por exemplo, engrenagens, veios, motores, rolamentos, turbinas, compressores, bombas, etc.

Durante a operação, os sistemas libertam energia sob a forma de vibração, cuja frequência pode ser monitorizada e caracterizada por três parâmetros: amplitude, velocidade e aceleração.

A definição do sensor, em termos de sensibilidade, para a medição dos parâmetros de vibração depende da frequência desta. Regra geral, escolhem-se sensores de amplitude para medição de sinais de baixa frequência, sensores de velocidade para medir gamas médias frequência e acelerómetros para sinais de alta-frequência. Para aprofundamento da matéria, recomenda-se a leitura de Tsang (1995).

A eficiência desta técnica depende de diversos factores, como sejam: a competência do analista; a complexidade do equipamento; a montagem dos sensores; a resolução; os métodos de recolha de dados.

II. Monitorização da condição eléctrica

Pela monitorização de diversos parâmetros eléctricos, é possível o conhecimento de dados úteis para detectar e rectificar falhas eléctricas, incluindo desequilíbrios de fase, quebras de isolamento e desapertos de conexões.

Dhillon (2002) lista os principais métodos de monitorização da condição eléctrica, de que se destacam os seguintes:

- ✓ teste de sobre tensão;
- ✓ análise do circuito eléctrico dos motores;
- ✓ teste de radiofrequência;
- ✓ termografia por infra-vermelhos;

- ✓ análise espectral da corrente dos motores;
- ✓ teste por ultra-som;
- ✓ teste de isolamento;
- ✓ registo de interrupções;
- ✓ análise dos óleos dos transformadores;
- ✓ teste de impulso de alta tensão;
- ✓ teste de corrente de arranque;
- ✓ leitura/registo da corrente dos motores;
- ✓ distorção de harmonias e factor de potência;
- ✓ teste de impedância.

Estes métodos permitem monitorizar diversos equipamentos eléctricos, tais como motores, transformadores de distribuição, aparelhos de distribuição e controladores e redes de distribuição. Os métodos de monitorização da condição eléctrica, que se aplicam especificamente aos seis tipos de equipamentos eléctricos referidos, encontram-se no quadro (2.3),

Quadro 2.3 – Métodos de monitorização aplicados a equipamentos específicos (Fonte: Dhillon, 2002)

<i>Equipamento</i>	<i>Método aplicável</i>
Geradores	Teste de rádio frequência; teste de isolamento
Transformadores de distribuição eléctrica	Registo de interrupções; análise do óleo dos transformadores; distorção de harmonias; factor de potência
Aparelhos de distribuição e controladores	Teste por ultra-som; inspecção visual
Motores eléctricos	Análise espectral da corrente; teste da corrente de arranque; análise do circuito eléctrico; teste do isolamento; teste da impedância; teste de sobre tensão; teste de impulso de alta tensão
Sistema de distribuição	Teste por ultra-som nas placas dos bornes; distorção de harmonias; factor de potência; teste de impulso de alta tensão
Cablagens de distribuição eléctrica	Teste por ultra-som; teste de isolamento

III. Termografia

A termografia por infra-vermelhos consiste na aplicação de instrumentos de detecção por este tipo de raios, para identificar diferenças de temperatura. Esta técnica, pelo facto de não implicar contacto físico, revela-se particularmente atractiva para identificar pontos quentes/frios em equipamentos energizados electricamente.

Com respeito aos equipamentos eléctricos, a termografia pode ser utilizada para identificar a condição em sistemas tais como: quadros de força motriz; quadros de comando de motores; transformadores e subestações. Nos equipamentos mecânicos, como condensadores, tubagens, equipamentos permutadores de calor e radiadores pode ajudar a identificar estrangulamentos de caudal.

A única insuficiência da termografia é a que resulta da limitação da linha de visão dos instrumentos de detecção por infra-vermelhos. A visão pode ser «enganada» pela geometria, pela cor do material e por factores envolventes, como são os efeitos do vento ou da exposição solar.

IV. Tribologia

São três as técnicas da tribologia utilizadas no controlo da condição dos equipamentos e tratam do estudo do comportamento das superfícies em contacto. São elas: a análise dos lubrificantes; a análise das partículas de desgaste; a ferrografia.

Estas técnicas são relativamente demoradas e caras, por requerem análises em laboratórios equipados com espectómetro e com *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Na análise dos lubrificantes, as amostras do óleo de lubrificação, do óleo hidráulico e do óleo dieléctrico devem ser sujeitas a exame com periodicidade fixa, de modo a verificar se mantêm os requisitos de lubrificação necessários à sua função. Quando a condição do óleo atinge um estado inaceitável, deve ser substituído para manter satisfatoriamente a operação do equipamento. Também se utilizam os resultados das análises como base de decisão para a alteração do tipo de óleo em uso, de modo a melhorar a eficiência ou a diminuir a dispersão de marcas de óleo a adquirir.

A análise dos elementos contidos na amostra do óleo lubrificante é realizada com técnicas de espectrografia. No entanto, estas podem ser complementadas com outros diagnósticos. A análise das partículas de desgaste possibilita-nos directamente a informação sobre a condição de desgaste das máquinas. Esta informação deriva da análise da forma, da composição, do tamanho e da quantidade das partículas. Existem dois tipos básicos de análise das partículas de desgaste. No primeiro tipo, procede-se à monitorização periódica do estado do óleo para acompanhar a evolução da sua forma, composição, tamanho e quantidade das partículas de desgaste. No segundo tipo, através das partículas existentes nas amostras, avalia-se a natureza do desgaste, que pode ser: de fricção; de incisão; por fadiga de material causada por rolamento; por combinação de desgaste; por deslizamento e rolamento; por deslizamento severo.

Finalmente, utilizam-se as técnicas da ferrografia para analisar as partículas maiores que 10µm existentes no óleo. Para avaliar a concentração das partículas de desgaste com as técnicas de ferrografia, o óleo deve ser escoado por um plano inclinado onde é sujeito a um campo magnético forte e gradual, de modo a separar as partículas por ordem decrescente do seu tamanho. Para separar também as partículas não ferrosas, a amostra do óleo passa através de uma série de filtros de membrana, devidamente calibrados e providos de um campo magnético. Esta técnica permite monitorizar a condição de desgaste de modo a detectar tendências que indiquem desgaste acentuado.

Quando se detectam desgastes anormais são preparados os ferrogramas – imagens microscópicas das partículas de desgaste alinhadas por tamanho decrescente –, para serem analisados visualmente. Pela localização e natureza do desgaste pode ser encontrada a sua razão e, através da correcção pode evitar-se a avaria do equipamento. Os testes analíticos que normalmente se realizam podem ser encontrados em Dhillon (2002).

De acordo com Tsang (1995), as análises de tribologia, em termos da sua aplicação na manutenção condicionada, apresentam algumas limitações: o custo elevado dos equipamentos; o facto de assentarem em procedimentos laboratoriais; a confiança na obtenção correcta das amostras; a habilidade necessária para interpretar correctamente os dados.

V. Ultra-som

Os aparelhos de ultra-som funcionam dentro de uma gama de frequências de 20-100 kHz, o que amplifica as ondas de alta-frequência de modo a ser possível ouvir alterações de ruído associadas à existência de fugas nos circuitos, a descargas de «corona», etc.

Aplicações de ultra-som em equipamentos específicos, tais como permutadores de calor, caldeiras de vapor ou componentes específicos, como os rolamentos, são bastante frequentes. Uma das principais limitações da técnica de ultra-som é que depende da percepção da alteração de ruído, tornando-se uma técnica bastante subjectiva.

VI. Testes não destrutivos

Esta técnica permite determinar as propriedades dos materiais e a qualidade do fabrico dos componentes e da montagem sem prejudicar o equipamento ou a sua função. Normalmente, os testes não destrutivos são usados quando os destrutivos têm custos proibitivos ou não são exequíveis.

Os testes não destrutivos aplicam-se em soldaduras sujeitas a trabalho com pressões elevadas, como por exemplo, nos depósitos pressurizados ou em estruturas de suporte. Também se aplicam em refinarias de óleo e na indústria química para se assegurar a pressão em equipamentos de processamento de substâncias voláteis. Os testes não destrutivos incluem os testes de ultra-som, o teste de partículas magnéticas, as inspecções de líquidos penetrantes, as provas hidráulicas, os testes de correntes parasitárias (*Eddy Current Testing*) e a radiografia.

Na elaboração do programa de testes não destrutivos deve-se atender à técnica a utilizar, ao número e à orientação das amostras, à frequência, à localização, ao modo de falha a que cada amostra corresponde e à informação conseguida a partir das amostras.

A definição do intervalo entre inspecções depende do ciclo de operação do sistema, do tipo de substância contida, dos principais mecanismos de corrosão, do histórico da taxa de falhas, da taxa expectável de corrosão, dos mecanismos de erosão e da taxa expectável de erosão.

Relativamente à localização dos pontos de amostragem, deve-se atender aos seguintes aspectos: soldaduras sujeitas a tensões elevadas, áreas susceptíveis de cavitação, ligações de metais diferentes, áreas com corrosão/erosão acelerada, tubagens com mudança abrupta de direcção de escoamento ou diferenças de diâmetro significativas. No quadro (2.4) encontra-se a lista das áreas de aplicação dos testes não destrutivos e as respectivas limitações,

Quadro 2.4 – Áreas de aplicação dos testes não destrutivos e respectivas limitações
(Fonte: Dhillon, 2002)

<i>Teste não destrutivo</i>	<i>Áreas de aplicação e respectivas limitações</i>
Ultra-som	Em componentes metálicos, incluindo depósitos soldados e aplicações específicas para plásticos ou materiais compósitos. Não permite detectar defeitos nas aplicações que sejam paralelas ao eixo do teste, por não ser uma técnica bidimensional.
Líquidos penetrantes	Aplicam-se a materiais não porosos (quimicamente compatíveis com o líquido). As marcas da maquinação dos materiais são confundidas com defeitos das soldaduras.
Prova hidráulica	Aplica-se a componentes e a sistemas completos contendo fluidos ou gases pressurizados. Pode provocar danos se se utilizarem pressões de teste sobre elevadas. Os fluidos utilizados na prova hidráulica devem ser quimicamente compatíveis com os requisitos do processo.
Radiografia	Em componentes metálicos, incluindo depósitos soldados, e em aplicações específicas para plásticos ou materiais compósitos. A aplicação requer equipamentos caros, técnicos devidamente preparados para interpretar as imagens captadas, bem como extensas medidas de segurança.
Teste magnético de partículas	Aplicam-se em materiais condutores de corrente eléctrica e de campos magnéticos. Aplicável apenas em materiais que permitam a condução de correntes electromagnéticas e limitado a áreas pequenas compreendidas entre os dois pólos do equipamento.
Eddy Current Testing	Em detecção de defeitos, tais como: costuras, fendas, poros em soldaduras, chapas quinadas e situações complexas de descontinuidade de secções. Também permite monitorizar a espessura de paredes metálicas, de placas ou de tubos. Limitado a defeitos superficiais ou pouco profundos. Por outro lado, se as correntes parasitárias forem paralelas à superfície onde está aplicado o campo de excitação, algumas descontinuidades laminares orientadas paralelamente à superfície poderão manter-se omissas.

2.4.2.3.4 Manutenção pró-activa

Este tipo de manutenção ajuda a melhorar a conservação dos sistemas através de acções de melhoria contínua, como, por exemplo: o desenho dos equipamentos; a sua construção; a sua instalação; a calendarização e os procedimentos de manutenção; neste último caso, através da optimização dos métodos e das tecnologias de manutenção para cada aplicação. A figura (2.20) apresenta os métodos empregues na manutenção pró-activa para prolongar a duração do sistema.

Este tipo de manutenção utiliza sempre a informação sobre o resultado das alterações introduzidas, de modo a garantir que as mesmas se revelam eficientes.

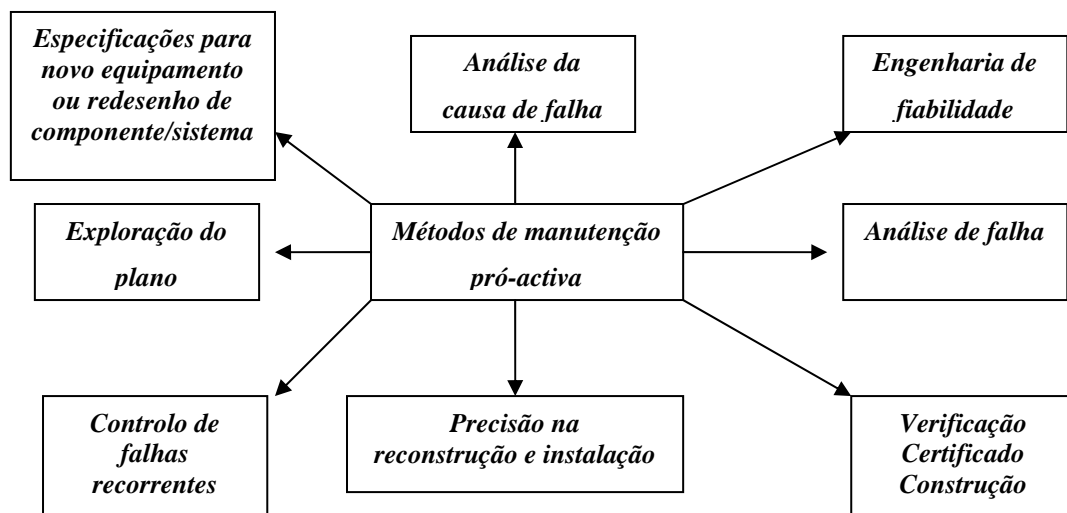


Fig. 2.20 – Métodos empregues na manutenção pró-activa (Fonte: Dhillon, 2002)

I. Engenharia de fiabilidade

Em conjugação com outras abordagens de manutenção pró-activa, envolve o redesenho, a modificação, a melhoria ou a substituição dos componentes. Existem diversas técnicas para desenvolver a análise fiabilística da engenharia aplicada aos componentes/sistemas. No entanto, os mais utilizados no sector industrial são a Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA) e a Análise de Árvore de Falhas (FTA).

II. Análise de falha

Após a remoção do componente que provocou a falha no sistema, é muitas vezes possível, através da inspecção visual, aferir as razões da mesma. No entanto, devido à crescente complexidade dos componentes e dos sistemas, torna-se cada vez mais necessário para encontrar a causa da falha promover análises com maior detalhe técnico.

Por exemplo, no caso concreto das falhas dos rolamentos, as causas principais para estas ocorrerem podem ser as práticas incorrectas de lubrificação, as excessivas tolerâncias de alinhamento, o excessivo balanço, a instalação imprópria, a incorrecta armazenagem e os métodos de montagem inapropriados.

III. Análise da causa de falha

Os principais objectivos da análise da causa da falha são os seguintes: determinar a causa de forma eficiente e económica; rectificar a causa e não apenas o seu efeito; instaurar a sistematização das acções; providenciar uma base de dados que possa ser útil na erradicação dos problemas.

IV. Especificações para novo equipamento ou redesenho de componente/sistema

A base da abordagem pró-activa está em documentar o histórico das falhas, de modo a permitir a definição das especificações técnicas para a aquisição e instalação de equipamentos novos ou alterados.

V. Exploração do plano

A exploração do plano de manutenção centrada na fiabilidade deverá permitir variar os seus aspectos chave, de modo a otimizar o processo. Deverá ainda examinar a aplicabilidade das actividades de manutenção, respeitando os seguintes factores:

- ✓ conteúdo técnico. Os conteúdos técnicos das actividades devem ser examinados, para garantir que todos os modos de falha estão correctamente definidos e que as actividades de manutenção conseguem repor os níveis de fiabilidade do sistema;
- ✓ intervalos entre actividades. Devem ser continuamente ajustados até que a taxa de falhas se torne decrescente;
- ✓ agrupamentos de actividades. As actividades de manutenção com periodicidade similar devem ser agrupadas com o propósito de melhorar os tempos dispendidos nas tarefas.

VI. Verificação a partir do certificado de construção

Após a instalação de um equipamento, é essencial verificar o cumprimento das especificações certificadas de modo a evitar problemas de funcionamento do equipamento e falhas prematuras.

VII. Controlo de falhas recorrentes

Um dos aspectos mais importantes é o facto de se ter em conta a experiência para fundamentar o plano de intervenção. Uma vez que o sistema comece a funcionar, o histórico das intervenções realizadas começa a acumular-se. Nessa altura, um dos passos mais urgentes é a reavaliação das decisões de manutenção entretanto em implementação.

Dhillon (2002) apresenta uma metodologia de desenvolvimento da análise de falhas recorrentes de forma estruturada.

VIII. Precisão na reconstrução e na instalação

A instalação apropriada dos equipamentos é essencial para se conseguir controlar o custo do seu ciclo de duração e maximizar a sua fiabilidade. Muitas vezes, os técnicos de manutenção e os operadores são confrontados com problemas relacionados com a instalação

dos equipamentos. A equilibragem e o alinhamento dos rotores são duas operações que usualmente são descuidadas na fase de instalação, e que originam diversos problemas no futuro, que se repercutem nos rolamentos.

2.4.2.4 Custo óptimo de manutenção

De acordo com as boas regras da gestão, é sempre necessário analisar a viabilidade de qualquer intervenção. A melhor política de intervenção é a que minimiza o custo total por unidade de tempo e propõe a determinação do ciclo óptimo de manutenção.

É possível determinar, pela expressão que a seguir se apresenta, o custo por ciclo de intervenção de carácter preventivo, considerando para tal: o custo de substituição por falha do componente (C_f) e o custo de tarefa de manutenção preventiva (C_p). E, considerando o processo elocástico das falhas, associam-se as probabilidades de falhar e de não falhar, representadas por $F(t_f)$ e $R(t_p)$, respectivamente,

$$C_f \times F(t_f) + C_p \times R(t_p) \quad (2.25)$$

Por outro lado, é necessário determinar o tempo do ciclo de manutenção; para tal, é fundamental determinar a média da distribuição de probabilidade truncada em t_p , sendo t_p – o tempo dos componentes sem falhas, através da expressão (2.26),

$$M(t_p) = \frac{\int_0^{t_p} t \times f(t) dt}{F(t_p)} \quad (2.26)$$

Sendo o tempo esperado por ciclo definido por,

$$t_p [R(t_p)] + M(t_p) \times F(t_p) \quad (2.27)$$

Se se utilizar a expressão (2.26) na expressão anterior vem,

$$t_p [R(t_p)] + \int_0^{t_p} t \times f(t) dt \quad (2.28)$$

De que resulta o custo por unidade de tempo a seguir,

$$c(t_p) = \frac{c_f \times F(t_p) + c_p \times R(t_p)}{t_p [R(t_p)] + \int_0^{t_p} t \times f(t) dt} \quad (2.29)$$

E o custo óptimo, quando a primeira derivada em ordem a tp é igual a zero (expressão 2.30),

$$c^*(t_p) = \frac{d[c(t_p)]}{dt_p} = 0 \quad (2.30)$$

CAPÍTULO III

ENQUADRAMENTO DA EXTRACÇÃO I

1. Apresentação da empresa

2. Processo produtivo da Extracção I

3.1 Apresentação da empresa

Corre o ano de 1973 quando nasce na margem sul do Tejo, em Palença de Baixo, concelho de Almada, a que é hoje uma das unidades industriais de referência no sector agro-alimentar da Europa, a Tagol – Companhia de Oleaginosas do Tejo, SA.

Tem numa localização privilegiada devido ao porto de águas profundas e à proximidade com a rede de auto-estradas com ligação a Espanha e ao resto da Europa. Na figura (3.1) pode observar-se uma fotografia panorâmica do parque industrial da Tagol, SA.

Encontra-se integrada no grupo industrial Nutrinveste desde 1999, e engloba os seguintes sectores de actividade:

a) portuário – com um terminal na área concessionada pela Administração do Porto de Lisboa constituído por dois cais construídos em 1984:

1.º – cais n.º 1, com 180 m de comprimento e 16/17 m de profundidade, para navios de 80 000 DWT, dotado de três pórticos de descarga de granéis sólidos, dois descarregadores pneumáticos com capacidades de 600 t/h e um descarregador mecânico com capacidade de 800 t/h;

2.º – cais n.º 2, com 100 m de comprimento e 12/13 m de profundidade, para navios de 30 000 DWT, equipado com um pórtico carregador de granéis sólidos com capacidade

de 1200 t/h. Dispõe ainda da possibilidade de carga/descarga de navios de graneis líquidos, através de um sistema de *pipelines*.

b) armazenamento – com um conjunto de silos para armazenagem de graneis líquidos e sólidos:

1.º – silos para graneis líquidos, com uma capacidade de ensilagem de cerca de 25 500 m³ para óleos crus, refinados e gorduras vegetais, depois de terem sofrido um aumento da capacidade em 2000. Um sistema de *pipelines* permite a carga/descarga de navios e de camiões;

2.º – silos para graneis sólidos (em betão e metal), com uma capacidade de ensilagem de 94 500 m³ para cereais e de 66 000 m³ para derivados ou cereais, depois de terem sofrido um aumento da capacidade em 2001;

c) produção industrial de óleos vegetais – com duas unidades de extracção:

1.ª – Extracção I, primeira fábrica de extracção de soja da Tagol, criada em 1975, sofreu uma melhoria em 1987 com a instalação do sistema de expandido da semente, processando 600 t/dia. Em 2000 esta instalação foi alterada e ampliada, dedicando-se também à extracção de girassol e laborando diariamente 800-850 t. A partir de 2007, através de um *revamping* industrial, foi introduzida a laboração de colza, processando 850-900 t/dia. É sobre esta unidade que se desenvolverá a presente dissertação;

2.ª – Extracção II, segunda unidade de extracção de soja que entrou em funcionamento em 1981, com uma capacidade produtiva de 1500 t/dia. Em 2000 o sistema de expandido de soja foi remodelado, permitindo um aumento da produção para 1800 t/dia;

d) refinação – com uma refinaria que iniciou a actividade em 1989, com uma capacidade produtiva diária de 160 t/dia. Actualmente, depois de um *revamping* industrial realizado em 2005, produz cerca de 230 t/dia;

e) produção de bio diesel – com uma unidade em projecto. Pretende-se instalar uma unidade de transesterificação para produção em contínuo de 100 000 t/ano de metilester (bio diesel qualidade EN 14 214), a partir do óleo de soja, de colza ou de óleos usados na fritura (UFO). A tecnologia para converter os óleos vegetais em bio

diesel (transesterificação contínua) é um processo já bastante desenvolvido, que consiste, basicamente, na combinação de uma gordura com metanol, coadjuvada por um catalisador (metilato de sódio). A reacção de transesterificação desenvolve-se em três etapas, com um excesso de metanol em relação à quantidade estequiométrica que é recuperado novamente para o processo. A temperatura de reacção ronda os 60°C e a pressão os 0,5 bar. O tempo de processamento desde a entrada do óleo na unidade até à saída de metilester é de cerca de 2 horas. O rendimento da transesterificação continua é de 99,8%, calculado pela relação óleo/bio diesel. Desta reacção de transesterificação resulta metilester (bio diesel) e glicerina, que são separados no final do processo. O processo de produção de bio diesel é muito eficiente do ponto de vista energético, pois por cada unidade de energia consumida no processo são ganhas aproximadamente 3,2 unidades.

f) produção de electricidade – com uma unidade de cogeração a gás natural, cujo alternador do grupo turbo gerador está ligado simultaneamente ao sistema eléctrico da rede pública e ao da rede interna da fábrica. O grupo turbo gerador produz electricidade no alternador síncrono a 6 kV/50 Hz, sendo elevada no transformador para 30 kV; o transformador elevador está ligado ao barramento da cogeração de 30 kV, e este, simultaneamente, à rede pública através de um disjuntor automático de rede e aos pontos de consumo da fábrica localizados no posto de transformação (PT1) igualmente através de um disjuntor automático;

Os gases produzidos na turbina são aproveitados para produzir vapor até às condições de sobreaquecimento; são enviados à caldeira de vapor sobreaquecido onde circulam em contracorrente com o circuito de água/vapor, percorrendo sucessivamente o sobre aquecedor, o queimador de pós-combustão, o vaporizador e o economizador. A caldeira de vapor sobreaquecido tem uma capacidade de 19 t/h, que poderá chegar às 30 t/h por efeito do *after burner*.



Fig. 3.1 – Fotografia panorâmica da TAGOL, SA (Fonte: Tagol, 1999)

3.2 Processo produtivo da Extracção I

A selecção do tipo de processo de extracção depende fundamentalmente do teor de óleo das sementes oleaginosas, podendo ser utilizados os seguintes tipos:

- ✓ extracção mecânica;
- ✓ extracção directa por solvente;
- ✓ extracção mecânica com posterior extracção por solvente.

As sementes oleaginosas com mais de 30% de gordura, como é o caso do girassol e da colza, são extractadas mecanicamente até cerca de 70-80%; posteriormente, sofrem nova processo de extracção por solvente para lhes ser retirado o restante óleo.

A unidade industrial em estudo processa normalmente sementes de girassol e de colza, alternadamente, donde resultam dois produtos: o óleo cru e o bagaço. Enquanto o óleo de

girassol se destina, na sua totalidade, ao mercado de óleos alimentares, o óleo de colza é utilizado para a fabricação do bio diesel. O bagaço produzido é utilizado para fins industriais, na indústria das rações.

A semente de girassol é importada maioritariamente dos países de Leste. Contudo, existe um período variável, de Setembro a Novembro, em que se consome também semente nacional, proveniente da campanha do girassol. A semente de colza é maioritariamente importada do norte da Europa, da Austrália e do Canadá.

O transporte da semente importada é efectuado por via marítima e é descarregada no cais da Tagol. A semente nacional é transportada via rodoviária e é descarregada directamente na ensilagem, através de tegões de recepção instalados na torre de ensilagem.

3.2.1 Preparação

A função da operação de preparação, como o próprio nome indica, visa preparar as sementes para a extracção do óleo, tanto pelo processo mecânico como por solvente (Shahidi, 2005).

As sementes de oleaginosas, de um modo geral, podem conter entre 20% e 50% de óleo, que se encontra no seu interior de forma compacta. A extracção mecânica vai, por um lado, forçar a remoção de uma parte desse óleo, por outro, vai expô-lo para a subsequente extracção por solvente.

As operações típicas envolvidas encontram-se ilustradas na figura (3.2) e, no caso concreto da unidade em estudo, envolvem as fases de pesagem, limpeza, condicionamento térmico, trituração, laminagem e cozimento, dependendo do tipo de oleaginosa em laboração. Neste trabalho vão ser descritas as fases de processo utilizadas na Extracção I.

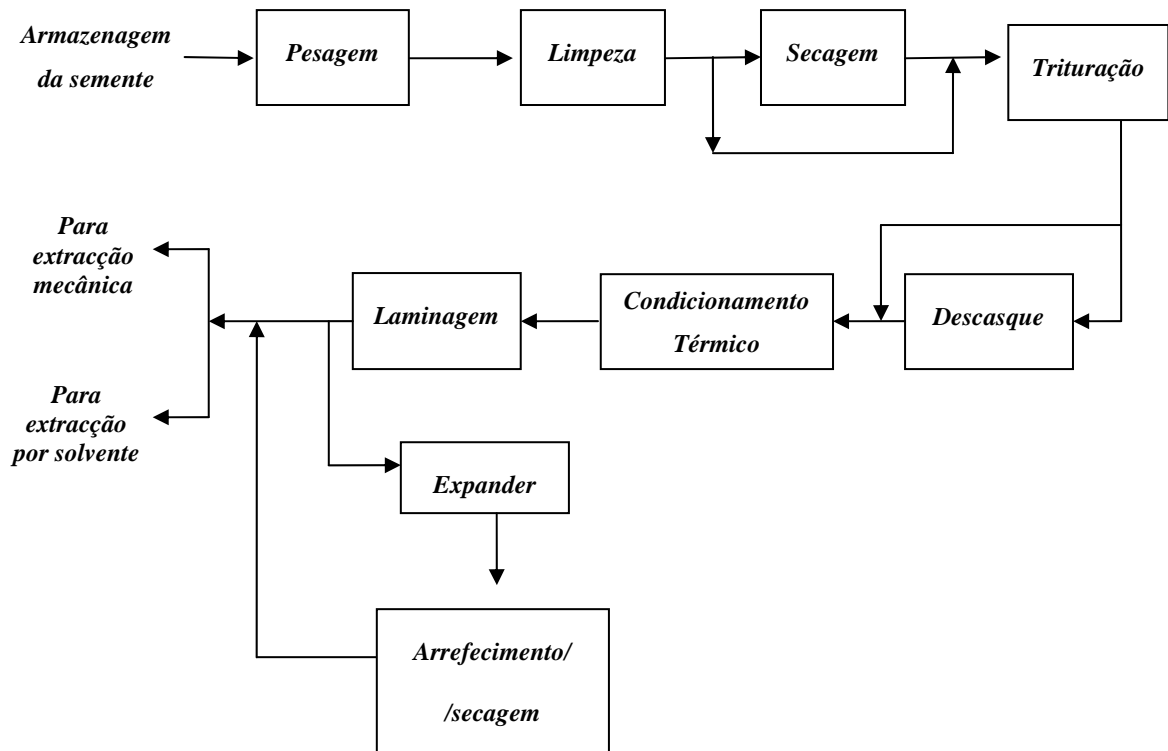


Fig. 3.2 – Fases típicas da preparação (Fonte: Shahidi, 2005)

3.2.1.1 Pesagem

O processo fabril inicia-se com a pesagem da semente. O ciclo de pesagem é composto pelo enchimento, pela pesagem propriamente dita e pela posterior descarga, tudo realizado automaticamente. O controlo da produção é feito com base no registo dos dados da pesagem.

3.2.1.2 Limpeza

Segundo Shahidi (2005), o valor das impurezas da semente para laboração não deve ultrapassar os 2%. Normalmente são retiradas em duas fases, antes da armazenagem da matéria-prima e no início do processo de preparação. As impurezas a remover podem consistir em semente estragada, paus, cascas, pó, terra, areia, pedra, palhas, ferros, etc.

Os ferros são, em princípio, os primeiros elementos estranhos a serem retirados de modo a proteger-se todos os equipamentos do processo. A separação é feita usando electroímãs, que captam os materiais ferrosos. Os aparelhos normalmente utilizados nesta operação são chamados separadores magnéticos, podendo ser ímãs em forma de prato ou de tambor rotativo.

Na Extração I são utilizados separadores magnéticos do segundo tipo, que apresentam como principal vantagem não necessitarem de imobilização durante a sua limpeza.

As partículas menos pesadas (pó e palhas) são retiradas através de um sistema de aspiração, composto por um ventilador, um ciclone e uma exclusiva. A aspiração de um ventilador cria uma depressão no ciclone, fazendo que as partículas mais leves sejam arrastadas do seio da cortina de semente. No interior do ciclone, as partículas mais pesadas são descarregadas por via da uma exclusiva para o lixo. O pó, que é menos denso, é aspirado num filtro de mangas e descarregado de novo no processo.

Para a limpeza das impurezas com maiores dimensões utiliza-se uma tarara, constituída por dois andares de crivos que agitam o produto com um movimento excêntrico. As impurezas de maior calibre são retiradas no crivo superior, permitindo a passagem da semente e dos finos, que são separados no crivo inferior.

3.2.1.3 Trituração

Muitas sementes oleaginosas requerem uma redução no tamanho para o seu processamento, como é o caso do girassol, que é reduzido a pedaços de 2 a 3 mm. A colza é uma excepção, já que é suficientemente pequena.

Os moinhos trituradores são constituídos por um ou dois pares de rolos estriados, que operam com velocidade diferencial e com sentidos de rotação contrários. A velocidade dos rolos e o seu afastamento são os parâmetros de ajuste nas máquinas.

3.2.1.4 Condicionamento térmico

Com excepção da prensagem a frio, todos os processos de extração de óleo requerem que a semente seja aquecida, e por vezes seca, antes de estes se iniciarem.

Quando é necessária a laminagem, as sementes são aquecidas entre 60-75°C. O aquecimento e o amaciamento prévios permitem a distorção da estrutura celular na operação de laminagem, originando o mínimo de partículas fragmentadas (Shahidi, 2005).

Existem diversos equipamentos para o condicionamento térmico da semente; na Extração I são utilizados condicionadores rotativos. Cada condicionador é constituído por um feixe tubular rotativo, onde circula vapor saturado que aquece a semente que está em contacto com o lado exterior dos tubos.

3.2.1.5 Laminagem

Muitas sementes são laminadas antes da extração por solvente, sendo a colza um desses casos. A laminagem distorce a estrutura celular da semente e reduz a distância que o solvente necessita de penetrar para atingir o óleo.

Os laminadores são constituídos por um ou dois pares de rolos lisos com diâmetros elevados; estes giram em sentido contrário um do outro, com velocidades de 250 a 300 rpm, com forças opostas originadas por cilindros hidráulicos.

Pretende-se que os flocos (denominação do semente laminada) fiquem com uma área de exposição muito superior à área da semente. Por outro lado, deverão ter uma espessura máxima de 0,35-0,40 mm, para permitir uma percolação eficaz. Os bons resultados da extração por solvente estão fortemente dependentes do desempenho da operação de laminagem.

Quando possuem espessuras superiores aumenta a distância que o solvente precisa de percorrer, provocando uma redução da quantidade de óleo extraído e um maior teor de óleo residual na farinha.

Para se garantir o bom desempenho da operação de laminagem, deve-se garantir sempre uma alimentação do produto uniforme e a posição paralela das superfícies dos rolos.

Para além disso, é importante manter uma boa aspiração nos laminadores para se remover o pó da semente nos equipamentos de alimentação, de modo a evitar-se a contaminação dos flocos.

3.2.2 Extracção mecânica

A colza e o girassol são dois tipos de oleaginosas com teores de gordura idênticos, com cerca de 40-44% de óleo, pelo que requerem extracção mecânica seguida de extracção por solvente. Na extracção mecânica a semente é sujeita a temperatura e a pressão muito elevadas.

A operação típica de uma extracção mecânica é apresentada na figura (3.3), e envolve: o cozimento, a prensagem, o arrefecimento da pasta e a filtração do óleo. O expandido e a moagem são utilizados na soja, não sendo o caso da unidade em estudo.

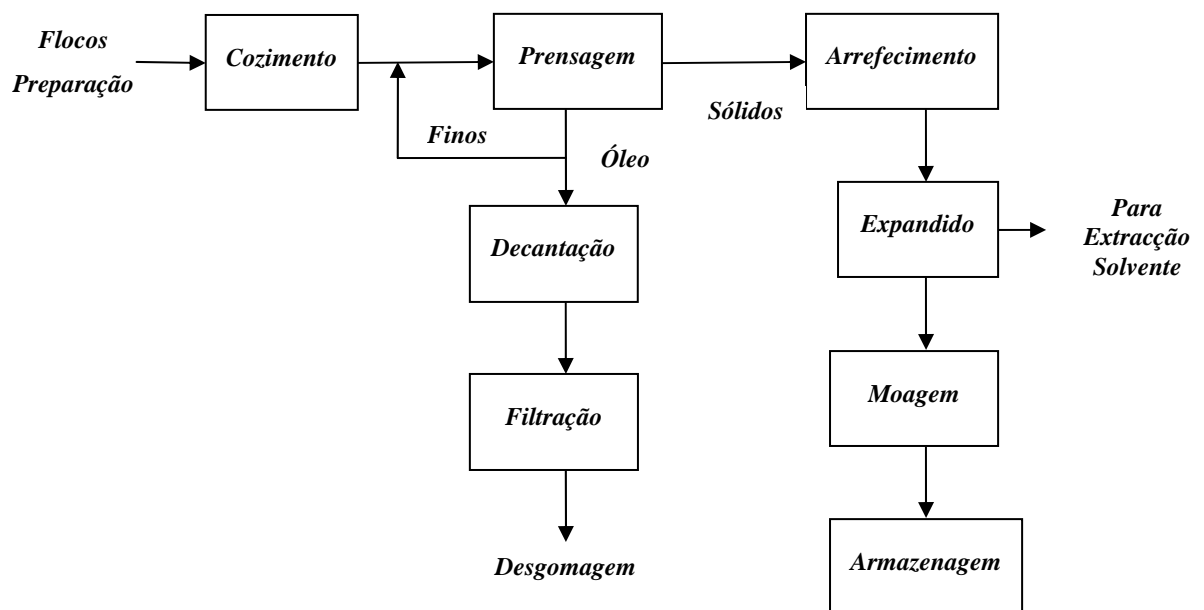


Fig. 3.3 – Fases típicas da extracção mecânica (Fonte: Shahidi, 2005)

3.2.2.1 Cozimento

Os flocos provenientes da laminagem, pré-aquecidos no caso da colza, e a semente triturada à temperatura ambiente, no caso do girassol, são normalmente aquecidos até a uma temperatura entre os 90-110°C, de modo a diminuir a viscosidade do óleo e a permitir que as prensas consigam expeli-lo e produzir uma pasta com boa qualidade.

No caso da colza, o aquecimento é realizado em dois estágios, indo o primeiro até aos 65°C, para condicionar a semente para laminagem, e o segundo, ou final, até cerca dos 100°C, para a prensagem.

A Extracção I possui dois cozedores cilíndricos verticais de oito pisos, com fundos aquecidos e pás rotativas accionadas a partir de um veio vertical.

O aquecimento da semente deve ser uniforme durante um determinado tempo e sem injeção de vapor directo. No entanto, como opção, os condicionadores têm a possibilidade da injeção directa de vapor para corrigir a humidade da semente.

3.2.2.2 Prensagem

Os equipamentos utilizados para reduzir o teor de óleo na semente, antes da extracção por solvente, designam-se prensas. Depois do cozimento, os flocos entram nas prensas onde cerca de 60% do óleo é removido por acção de uma intensa pressão mecânica.

As prensas são equipamentos mecânicos que utilizam um sistema de parafuso horizontal, cujo veio possui um diâmetro crescente para aumentar a pressão sob o material ao longo do seu comprimento. A camisa envolvente do parafuso apresenta ranhuras ao longo desse comprimento, permitindo o aumento da pressão interna para primeiro expelir o ar e depois expelir o óleo. O óleo expelido é colectado através de um sem-fim e a pasta (designação do produto resultante da prensagem) é descarregada na parte final do sistema de parafuso.

A prensagem tem duas importantes funções: a primeira, é a de retirar cerca de 70-80% de óleo; a segunda, prende-se com a produção de uma pasta porosa com adequada desagregação da estrutura celular, para permitir uma percolação correcta na extracção por solvente.

Decantação e filtração ou centrifugação

A parcela de óleo removida na prensagem está impregnada de pequenas partículas do material, normalmente na ordem dos 5-10% da sua massa. Essas partículas são separadas em duas etapas: a primeira, através da decantação num tanque durante 30 a 60 minutos. Desta forma, consegue-se que as partículas mais pesadas se depositem na base do tanque.

No caso da Extracção I, depois da separação por gravidade o óleo é bombeado para um sistema de centrifugação. As partículas removidas, ricas em gordura, são reintroduzidas no processo de extracção, ou na fase de cozimento, ou após a prensagem para seguirem para a extracção por solvente.

3.2.3 Extracção por solvente

Após as operações de preparação e de extracção mecânica, a pasta é entregue na extracção por solvente. Esta é uma etapa do processo de obtenção de óleos vegetais na qual se obtém óleo cru e bagaço, a partir da pasta resultante da prensagem. A figura (3.4) ilustra as operações típicas associadas à extracção por solvente, que incluem: a extracção; a destilação do solvente; a recuperação da fase líquida do solvente. Por outro lado, o extractor descarrega o material extractado que será dessolventizado, torrado, seco e arrefecido para seguir para a armazenagem. Existem algumas variações do processo em função do tipo da semente.

Nesta operação utiliza-se, normalmente, um solvente que é uma fracção ligeira de hidrocarboneto proveniente da destilação do petróleo, designado por n-Hexano (C_6H_{14}), que apresenta um ponto de ebulição de 68°C e um ponto de fusão de 95,3°C.

A maior desvantagem que apresenta é o facto de se poderem formar atmosferas explosivas com facilidade, o que acontece com uma concentração mínima de 1,7% de hexano e 98,3% de ar. Isto obriga a um controlo restrito dos acessos na execução dos trabalhos.

Este solvente, pelas suas propriedades combustíveis, tóxicas e muito voláteis forma misturas explosivas em contacto com o ar, o que exige que as regras de segurança sejam muito específicas e rigorosas; todas as motorizações têm de ser antideflagrantes e é interdita a

entrada ou a utilização de quaisquer equipamentos ou ferramentas susceptíveis de produzir faísca.

Outra característica é o facto de ser três vezes mais denso que o ar, acumulando-se nos pontos mais baixos da instalação, tais como, canais, poços, etc.

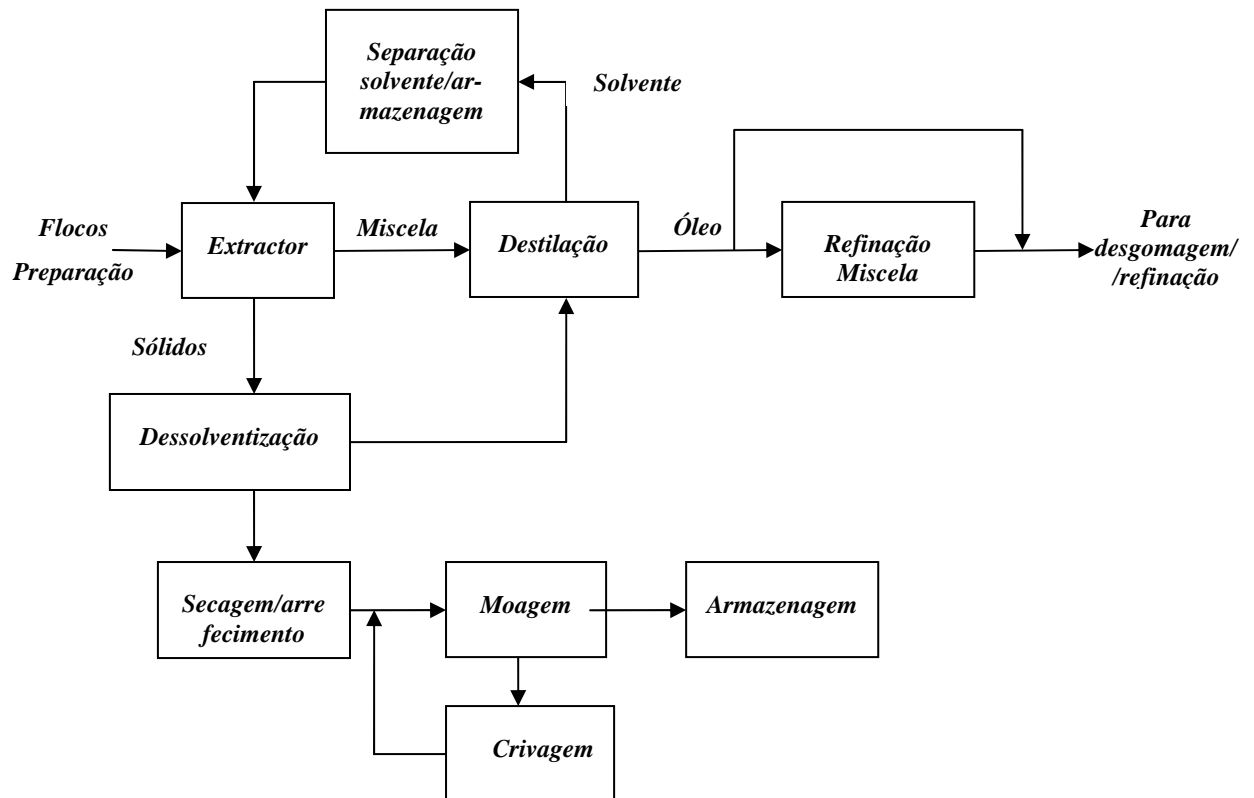


Fig. 3.4 – Fases típicas da extração por solvente (Fonte: Shahidi, 2005)

3.2.3.1 Extractor

Trata-se de um equipamento que funciona por percolação, ou seja, por circulação de solvente «fresco» ou de mistura de solvente e de óleo vegetal (em proporção variada) através da camada de produto que se desloca linearmente no interior do extractor.

Destina-se a extrair por lavagem e a escoar os flocos com uma mistura de percolação (óleo com hexano) ou com solvente fresco, em passagens sucessivas através do produto, enquanto o leito de flocos se move em contracorrente em relação à aspersão do solvente.

O hexano acabado de sair do sistema de recuperação de solvente entra e lava os flocos com o menor teor de óleo, imediatamente antes de serem escoados e passarem ao dessolventizador.

Como o hexano tem maior afinidade com o óleo do que a massa, faz que esta abandone a camada de flocos seguindo para uma tremonha como mistura de percolação (óleo com hexano). A mistura de percolação mais fraca (com menor teor de óleo) é então bombeada em direcção aos flocos novos, que têm um teor de óleo mais elevado. A mistura de percolação mais rica (contendo cerca de 25-30% de óleo) é normalmente bombeada para um ciclone líquido, para remover os resíduos de farinha antes de ser bombeada para um sistema de recuperação de solvente que o evaporará do óleo cru por destilação.

O extractor instalado é composto por um tapete metálico, constituído por um conjunto de tabuleiros formados por painéis de chapa perfurada, cobertos por uma rede de malha metálica, o qual tem movimento lento e linear.

Por debaixo do tapete há uma série de tremonhas que recebem a mistura de hexano com óleo, a qual é aspirada por um conjunto de bombas que a bombeiam em circuito fechado para o leito da camada de flocos, através de distribuidores dispostos na parte superior do equipamento.

Com válvulas instaladas nas tubagens das compressões das referidas bombas e com visores montados junto de cada distribuidor, é possível regular a intensidade de rega em cada secção enquanto se observa, através do visor correspondente, a parte superior da camada de produto no interior do equipamento.

Cada secção de rega está separada da seguinte por uma zona de escorrido, cuja capa superior será removida por um ancinho articulado. Estes ancinhos têm uma dupla função:

- ✓ restabeler a permeabilidade superficial que poderá, eventualmente, ficar reduzida por sedimentação das partículas mais finas;

- ✓ evitar pequenos taludes de flocos que se formam sobre os ancinhos, possibilitando que a mistura de óleo com hexano se estenda na superfície da zona de escorrido.

Através das operações realizadas na preparação, especialmente com uma boa laminagem, consegue-se reduzir o tempo de percolação.

A maior parte do óleo que se extrai facilmente deriva da ruptura das células, especialmente as próximas da superfície dos flocos. A transferência do óleo das células interiores, distorcidas, faz-se provavelmente por fluxo capilar; a proporção desta transferência depende parcialmente da viscosidade da mistura de percolação. As células intactas contêm uma porção de óleo que se extrai mais lentamente, cuja transferência se faz por osmose.

O teor de humidade dos flocos é outro factor que influencia o grau de extracção por solvente, na medida em que o hexano e a água são imiscíveis. Daí que teores elevados de humidade dificultem a penetração do hexano na camada de flocos; por outro lado, teores baixos de humidade reduzem a resistência estrutural dos flocos aumentando, assim, a quantidade de resíduos.

Pontos de controlo no extractor

Segundo Carrasque (2001), existem seis pontos fundamentais para controlo do equipamento que se apresentam sucintamente:

a) concentração da mistura de percolação. A concentração da mistura na saída do extractor é uma boa referência para indicar o rendimento do equipamento, e depende do caudal de solvente que entra no extractor. Uma mistura de percolação muito concentrada aumentará o óleo residual na farinha, diminuindo o aproveitamento da energia dos gases do dessolventizador no primeiro evaporador.

Concentrações muito baixas implicam um aumento do consumo de vapor após o primeiro estágio de destilação. A concentração ideal é aquela que permite o aproveitamento integral dos gases do DT.

b) controlo de nível. É importante nos extractores horizontais, para manter o equipamento estanque e não permitir a fuga dos gases. Pode ser simples, apenas com

controlo de nível máximo e de nível mínimo, ou mais complexo, com sensores capacitivos e ultrasónicos montados na tremonha de entrada, que permitem controlar a velocidade do tapete do extractor.

c) temperatura da mistura de percolação. O ideal é que seja igual à da massa do extractor, entre 58-60°C.

d) temperatura do solvente. A temperatura do solvente à entrada do equipamento deve ser tão alta quanto possível, respeitando-se a temperatura mínima de evaporação que é de 68°C. Normalmente obtêm-se bons resultados em torno dos 55°C.

e) retenção do solvente. Valores elevados indicam a existência de problemas na percolação durante a lavagem (quantidade de mistura de percolação ou de solvente em volume que ultrapassa uma certa área por hora); isto pode acontecer por excesso de finos, de impurezas, de pasta muito fina, de massa muito quente, etc. Valores baixos de retenção de solvente indicam boa percolação, mas não indicam necessariamente boa lavagem.

A pasta grossa produz boa percolabilidade e baixa retenção, mas elevado teor de óleo residual.

f) limpeza do tapete. Deve-se garantir que haja recirculação nos funis das bombas P2A e P2B, para que os finos não se decantem e impeçam o bombeamento para a camada superior do tapete. A obstrução carregará finos para os tanques de depósito de solvente.

Princípio de funcionamento do circuito de solvente/mistura percolação

A partir da figura (3.5) é possível observar o princípio de funcionamento do extractor, utilizando a nomenclatura de um importante fabricante, a DeSmet.

A bomba P1 bombeia o solvente fresco, resultante da destilação na parte final do extractor, submetendo a camada de flocos à última lavagem. Este solvente absorve uma ligeira quantidade de óleo ao atravessar a camada, caindo na tremonha que alimenta a bomba

P3/7. Por sua vez, esta bombeia o solvente recolhido para o distribuidor colocado por cima da camada, na direcção da tremonha seguinte.

Assim, devido à permanente entrada de solvente fresco através da bomba P1, a respectiva tremonha vai transbordando para a tremonha subsequente através de uma antepara de comunicação.

A tremonha subsequente alimenta a bomba P3/6, que bombeia a mistura de percolação para o distribuidor colocado por cima da camada e na sua direcção, permitindo assim uma lavagem mais intensa da camada. À medida que a mistura de percolação transborda de tremonha em tremonha, o funcionamento repete-se, exactamente da mesma forma. A mistura de percolação circula em circuito fechado e é o transbordo das tremonhas que faz que a sua concentração em óleo seja progressivamente maior à medida que vão encontrando flocos com teor de gordura mais elevado.

A última tremonha (mais à esquerda na figura) recebe a mistura de percolação por transbordo da anterior e a mistura de percolação de limpeza alimentada pelas bombas P2A e P2B, através de um distribuidor suplementar colocado sobre a camada, por cima da referida tremonha. A mistura de percolação depositada nessa tremonha é bombeada pela bomba P15 para o depósito 17, que alimenta a destilação.

O tapete, depois de descarregar a farinha na tremonha de saída, fica com algumas partículas sólidas agarradas aos tabuleiros metálicos. A sua limpeza realiza-se por rega com hexano fresco através da bomba P1Bis; este hexano, proveniente do depósito 17, alimenta o distribuidor de limpeza dirigido sobre o tramo de retorno do tapete fazendo descolar o produto. Do lado contrário (entrada do produto) é efectuada uma rega com mistura de percolação rica, procedente do mesmo depósito, por meio da bomba P8. Esta rega tem como objectivo criar uma película protectora do tapete para reduzir o atrito na rede.

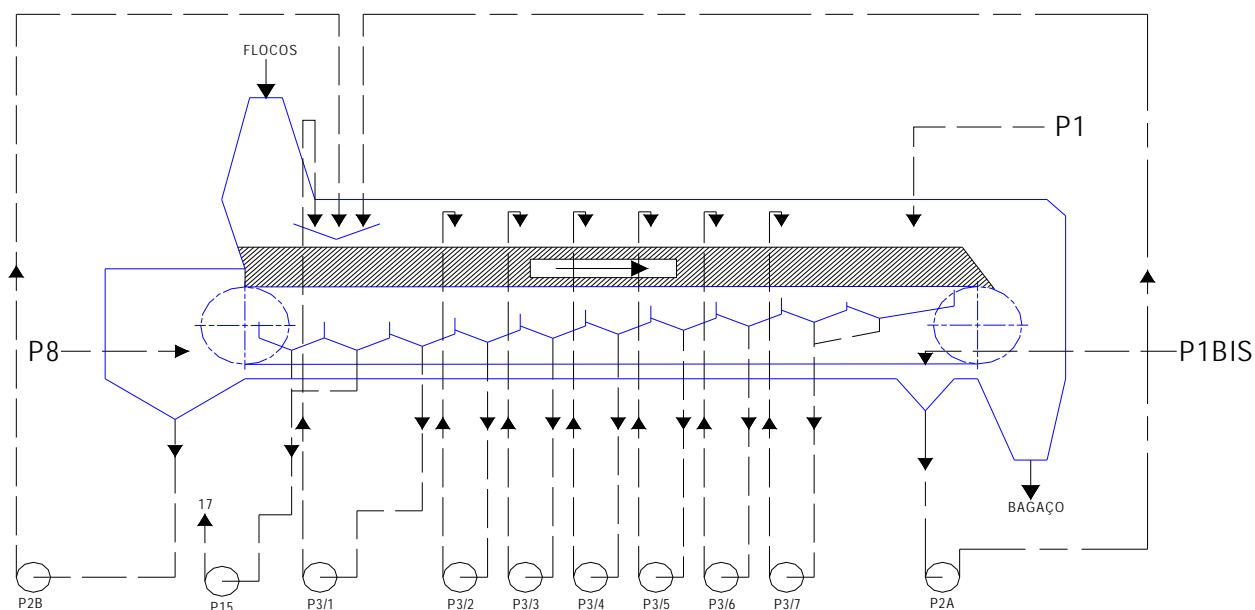


Fig. 3.5 – Princípio de funcionamento do circuito de solvente/mistura percolação

3.2.3.2 Destilação da mistura de percolação

Esta unidade industrial usa um sistema DeSmet de destilação da mistura de percolação, que se caracteriza por ter uma pressão de operação constante em todos os equipamentos, de cerca de 460-475 mmHg (0,61-0,64 barg). Tem ainda uma velocidade de escoamento elevada, devido à utilização de evaporadores com feixes tubulares de espessura muito reduzida.

Estas condições são muito importantes para alguns tipos de óleo, que têm tendência para estabilizar a cor se forem submetidos a uma temperatura elevada antes de refinados. O factor temperatura é muito importante, se se pretende evitar a produção de lecitina demasiado escura e com pouco valor comercial.

Evaporador-economizador (item 60S)

Após a passagem pelo tanque, o «pulmão» da destilação (item 17), a mistura de percolação entra na primeira fase através da sua circulação no evaporador-economizador (item 60S). À saída está mais concentrada (75-80%) devido à evaporação do solvente; o solvente evaporado no equipamento representa aproximadamente 85-90 % do contido na

mistura de percolação. Após a circulação da mistura no interior do equipamento, em que atinge a temperatura de 55-60 °C, é bombeada para o permutador de óleo/mistura de percolação (item 581).

A evaporação do solvente é conseguida através da condensação da totalidade do vapor de água que provém de três origens: do dessolventizador (item 70); do vaporizador dos gases afecto ao decantador de água/hexano (item 45); do ejector de vapor (item 41/19), embora indirectamente, uma vez que o vapor de descarga deste ejector passa através do vaporizador afecto ao decantador de água/hexano (item 45). Neste equipamento (item 60S) também se condensa a maior parte do solvente evaporado, proveniente do dessolventizador. O solvente e a água condensada são drenados por gravidade para o decantador de água/hexano (item 32/34).

Este evaporador considera-se economizador, uma vez que aproveita o calor latente dos gases provenientes do dessolventizador, do vapor de água proveniente do vaporizador do gases afecto ao separador de água/hexano (item 45) e do ejector de vapor (item 41/19), em lugar de utilizar vapor vivo como fonte de calor.

O evaporador-economizador é constituído por um feixe tubular vertical por onde circula a mistura de percolação em sentido ascendente (no interior dos tubos), que permuta energia com a corrente de gases envolvente dos tubos. A mistura de percolação sai do equipamento através de um deflector, que separa as suas fases gasosa e líquida.

O equipamento no circuito dos gases funciona em depressão, com cerca de 460-475 mmHg (0,61-0,64 barg) de pressão.

Permutador de óleo bruto/mistura de percolação (item 581M)

O permutador permite aquecer a mistura de percolação proveniente do evaporador-economizador (item 60S), trocando o calor com o óleo bruto proveniente do secador de óleo (item 506). Com esta operação consegue-se, ao mesmo tempo, arrefecer o óleo bruto destinado à armazenagem.

Evaporador final (item 18S)

No evaporador final (item 18S) a mistura de percolação circula em sentido ascendente no interior dos tubos, sendo aquecida entre 95-105°C com vapor saturado seco a 1,5-2,5 barg que se condensa na envolvente dos mesmos. Dada a troca térmica, consegue-se evaporar a mistura de percolação e obter um aumento de concentração da mesma de cerca de 75% (à entrada) para 97% (à saída).

O equipamento funciona no circuito dos gases com depressão igual à do evaporador-economizador (item 60S), que oscila entre os 460-475 mmHg (0,61-0,64 barg).

Este evaporador é do tipo *flash-evaporator* de grande superfície e de circulação acelerada, que permite uma evaporação rápida do solvente. Estas condições, aliadas à temperatura baixa do vapor, evitam a estabilização da cor ou qualquer outra alteração nas propriedades analíticas do óleo.

Pré-aquecedor de óleo (item 21S)

O pré-aquecedor de óleo (item 21S) permite aquecer a mistura de percolação proveniente do evaporador com vapor saturado seco a 1,5-2,5 barg, (item 18S).

O pré-aquecedor de óleo (item 21S) é constituído por um feixe tubular vertical por donde circula a mistura de percolação em sentido ascendente no interior dos tubos, que permuta energia com o vapor que se condensa na envolvente dos tubos.

Acabador de óleo (item 22S)

No acabador de óleo (item 22S), a mistura de percolação, já com concentração de cerca de 97% (na entrada), fica em contacto directo com o vapor de *stripping* proveniente da descarga do ejector do secador final de óleo (41/506).

A coluna de *stripping* é constituída por diversos pratos de rede, especialmente projectados para evitar a acumulação de sujidades. Por outro lado, dispõe de uma injeção de vapor adicional aos pratos, através de um distribuidor de vapor (10 barg).

Este equipamento permite eliminar os vestígios de solvente no óleo até 150-200 ppm. A temperatura do óleo à saída do acabador varia entre os 100-110 °C, e este é enviado para as etapas da desgomagem e da secagem.

3.2.3.3 Condensação de gases

Devem distinguir-se dois tipos de condensação de gases na instalação: a que resulta do processo de concentração da mistura de percolação nos equipamentos da destilação, que operam em depressão; a dos gases provenientes principalmente do dessolventizador, mas também das vaporizações ocorridas no extractor e noutros equipamentos, que operam à pressão atmosférica.

3.2.3.3.1 Condensação de gases (circuito em depressão)

No processo de destilação, durante a concentração da mistura de percolação nos evaporadores, itens (60S) e (18S), e no acabador de óleo, (item 22), são gerados gases sob depressão que devem ser condensados para recirculação como solvente no extractor. Esta operação de condensação realiza-se com troca térmica com água salgada fria no condensador de vazio (item 19).

Condensador de vazio (item 19)

Trata-se de um condensador de feixe tubular, que condensa os gases provenientes dos evaporadores (itens 60S e 18S), bem como do acabador de óleo, (item 22); indirectamente, condensa também os gases provenientes dos restantes equipamentos sob vazio, através do seu arrefecimento devido à troca térmica com água salgada. Isto passa-se com os gases provenientes do destilador do óleo mineral (item 122), que sofrem um duplo processo de condensação: inicialmente entram no condensador (item 520) e, os não condensados, reentram (item 19) por intermédio do ejector (item 41/520).

Os gases não condensados no condensador (item 19) são aspirados pelo ejector, (item 41/19), gerando o vazio necessário para a evaporação. A descarga dos gases do ejector é

enviada para o *stripper* de segurança do decantador de água/hexano, (item 45), para serem utilizados como fonte de energia latente para aquecer/vaporizar os fluidos que vão entrar no evaporador-economizador (item 60S).

Todo o condensado (solvente e água) resultante do condensador (item 19) é aspirado e enviado para o decantador de água/hexano (item 32/34).

«Stripper» de segurança dos efluentes (item 45)

Trata-se de uma coluna de *stripping* do efluente líquido proveniente do decantador de água/hexano (item 32/34).

A função deste equipamento consiste em vaporizar qualquer possível fuga de solvente em fase aquosa, proveniente do decantador de água/hexano (item 32/34). Em condições de operação normal não deveriam ocorrer fugas de solvente do equipamento (32/34), ainda assim, o sistema dispõe de um *stripper* de segurança dos efluentes (item 45) que consegue vaporizar o solvente existente e, de seguida, enviá-lo para o evaporador-economizador (item 60S).

A fonte de energia latente para aquecer/vaporizar os fluidos no *stripper* de segurança do decantador de água/hexano (item 45) resulta da descarga dos gases do ejetor (item 41/19).

3.2.3.3.2 Condensação de gases (circuito atmosférico)

Trata-se da condensação dos gases provenientes, principalmente, do dessolventizador, mas também de vaporizações ocorridas no extractor e em outros equipamentos que operam à pressão atmosférica.

Condensadores de gases do dessolventizador/extractor (item 20B1/B2)

Este condensador tubular (item 20B1/B2) condensa os gases provenientes do dessolventizador, as vaporizações provenientes do extractor, do decantador água/hexano (item 32/34) e das cisternas de solvente (item 63). Utiliza-se como fluido secundário a água doce em circuito fechado, via permutador (item 81/20). Este permutador faz a troca do calor entre a água salgada e a água doce.

Os gases provenientes do dessolventizador (item 70) chegam ao condensador (item 20B1/B2) via evaporador-economizador (item 60S).

Os gases provenientes do dessolventizador (item 70) são formados praticamente por solvente e água. Primeiro, são enviados para o lavador de gases (item 29) onde são sujeitos a pulverização com água quente, em contracorrente, e se retém a maior parte das partículas sólidas que foram arrastadas do dessolventizador. Como a água de lavagem é aquecida no item 45, os gases do dessolventizador não se condensam neste equipamento.

Os gases já lavados são enviados ao evaporador-economizador (item 60S) onde se condensam parcialmente, transferindo o calor latente para a mistura de percolação. Uma grande quantidade de gases são condensados nesse equipamento, no entanto, os gases que não se condensam no item (60S) passam aos condensadores de solvente (item 20B1/B2).

O condensador (20B1) também recebe as vaporizações provenientes do extractor, do decantador de água/hexano (item 32/34), das cisternas de solvente (item 63) e do tanque «pulmão» da destilação (item 17).

Condensador final de vaporizações (item 30)

Os gases que não se condensam nos condensadores (item 21B1/B2), principalmente o ar contendo traços de solvente, passam à última etapa de condensação no condensador final de vaporizações (item 30).

Neste (item 30), a condensação do solvente faz-se através da lavagem dos gases com água doce, provocando o seu arrefecimento brusco e diminuindo a sua temperatura

praticamente até à temperatura disponível da água de arrefecimento. O objectivo é diminuir a carga de solvente que passa junto com o ar para a recuperação final de gases.

3.2.3.4 Recuperação final de gases

Os gases provenientes do condensador final de vaporizações (item 30) entram na coluna de absorção (item 120), onde encontram uma corrente de óleo mineral frio. Este absorve praticamente todo o solvente remanescente.

O óleo mineral é de seguida aquecido através da passagem por um permutador de óleo mineral/óleo mineral (item 181A) e, posteriormente, por um aquecedor de óleo (item 121) através da permuta térmica com vapor saturado, para ser regenerado num *stripper* (item 180). O solvente vaporizado no *stripper* é enviado de novo para o condensador (19), através do ejector (41/19).

O óleo mineral sofre novo arrefecimento através da passagem no permutador de placas (item 181A), onde permuta o calor com o óleo mineral mais frio; de seguida, através da passagem no outro permutador de placas (item 181B), permuta o calor com a água salgada.

3.2.3.5 Desgomagem do óleo

Após a passagem pelo acabador de óleo (item 22) a temperatura deste ronda os 100-110°C, havendo necessidade de o arrefecer para uma temperatura situada entre os 84-86°C. Para tal, utiliza-se um permutador de placas óleo/água, item 81H.

Sendo a água o elemento hidratante das lecitinas (fosfatídeos), é adicionada água quente (condensado de vapor) ao óleo, numa quantidade de cerca 2-3% do volume de óleo a desgomar.

O processo de desgomagem visa dois objectivos importantes: um, consiste em remover os fosfolípidos e produzir uma boa qualidade do óleo refinado; o outro, visa aproveitar a lecitina, que é uma importante emulsão usada na indústria alimentar e em muitas outras indústrias. Após a desgomagem, o total de fósforo contido no óleo é da ordem dos 150 p.p.m.

3.2.3.6 Secagem do óleo

Quando o óleo desgomado sai da centrífuga contém uma quantidade residual de água. Isso resulta da sua adição para hidratação das lecitinas, que as centrífugas não conseguem eliminar na totalidade. Assim, para eliminar completamente toda a humidade, faz-se passar o óleo por um secador sob vazio a 750 mm Hg.

Recordemos que a temperatura do óleo à entrada nas centrífugas se situa na casa dos 86°C e que à saída é sensivelmente igual. Para separar a humidade do óleo é necessário aquecê-lo à temperatura de pelo menos 110°C, por acção do vapor injectado num permutador de feixe tubular, entrando seguidamente no secador propriamente dito. Existe ainda a possibilidade de injectar vapor directo para fazer o chamado *stripping*, libertando eventuais traços de hexano ainda existentes no óleo.

Finalmente, o óleo é arrefecido através de um permutador de placas (item 81), aproveitando-se a sua energia para elevar a temperatura da mistura de percolação na entrada do evaporador (item 18S), sendo então bombeado para os tanques de armazenagem a uma temperatura rondando os 50°C.

3.2.3.7 Dessolventização

A farinha extractada é submetida a um tratamento de dessolventização, dado que possui cerca de 25-30% de solvente residual. Para tal, é utilizado um equipamento que se denomina por dessolventizador (item 70).

Um dessolventizador (item 70) é composto pelo empilhamento vertical de várias cubas cilíndricas, providas de duplo fundo, aquecidas a vapor. Cada fundo possui um orifício com uma válvula automática que deixa passar controladamente a farinha, e várias grelhas que deixam passar os gases de um piso para o superior. Um veio vertical comum faz girar lentamente as palas inclinadas sobre cada fundo, instaladas em cada piso, que asseguram a remoção da farinha.

As comportas de passagem da farinha são accionadas pelo nível do produto em cada cuba. O compartimento superior está ligado a uma conduta de gases que os canaliza para o evaporador-economizador (item 60), passando antes pelo lavador de gases (item 29).

3.2.3.8 Granulação

Após a dessolventização, a farinha é sujeita ainda a um processo de granulação. Esta operação resulta da necessidade de aumentar a densidade da farinha à saída de fábrica, de modo a otimizar a armazenagem e o transporte.

Como a temperatura do granulado é bastante elevada, e é necessário que fique próxima da temperatura ambiente, este é sujeito a arrefecimento com circulação de ar frio.

O arrefecedor funciona sob baixa pressão, para se evitar o risco de perdas de poeiras, havendo, no entanto, um sistema de despoeiramento instalado para proceder à recuperação.

A temperatura do granulado à saída de fábrica é muito próxima da temperatura ambiente. Este segue para a armazenagem, donde é posteriormente expedido para os clientes.

CAPÍTULO IV

ANÁLISE GLOBAL DAS FALHAS DO SISTEMA REPÁVEL: EXTRACÇÃO I

1. Introdução

2. Análise das interrupções de produção

3. Análise da ordem cronológica das falhas técnicas

4. Análise da disponibilidade

5. Discussão dos resultados

4.1 Introdução

Sendo a Extracção I, no seu conjunto, considerada um sistema reparável, deve atender-se que contém dois subsistemas hierarquizados em outros tantos níveis; apresenta-se no Anexo I a respectiva decomposição hierárquica. Na definição dos subsistemas reparáveis de primeiro nível, seguiu-se o critério das famílias de equipamentos em função dos órgãos e dos componentes constituintes, bem como das suas características funcionais.

Por fim, os equipamentos instalados na unidade constituem os subsistemas de segundo nível e aparecem definidos com a nomenclatura utilizada na exploração, como se pode ver no mesmo anexo.

Estes subsistemas reparáveis são regularmente sujeitos a acções de manutenção preventiva, designadamente quanto à avaliação da sua condição.

As situações de manutenção correctiva correspondem, normalmente, à substituição dos componentes que falham, o que obriga a limitações ou a interrupções na produção.

Para que o sistema possa cumprir a sua função, mantendo a laboração sem interrupções, todos os subsistemas do primeiro nível devem estar operacionais, dado que funcionam em série. Já quanto aos subsistemas do segundo nível, que funcionam em paralelo, como é o caso dos moinhos trituradores, dos laminadores, dos cozedores, das prensas, das granuladoras e dos arrefecedores podem estar imobilizados para manutenção, apenas limitando o regime nominal da produção. Contudo, essas diferenças de produção são reflectidas nos registos das falhas como tempos de interrupção de produção, tendo em conta a sua duração.

Neste capítulo procurar-se-á fazer uma abordagem quantitativa das causas mais significativas nas falhas dos equipamentos e, conseqüentemente, das interrupções produtivas. A partir do tempo de duração das interrupções da produção, serão analisadas as causas mais significativas na duração das interrupções e estudados os tempos técnicos de reparação.

Por outro lado, a ordem cronológica das falhas é fundamental para a avaliação do comportamento da unidade industrial em estudo (doravante denominada por sistema reparável ou Extracção I), bem como dos subsistemas reparáveis instalados.

A análise da sequência das falhas, no contexto dos processos estocásticos pontuais, permite identificar a presença de possíveis Processos de Poisson. A análise estatística será efectuada com recurso ao Teste de Laplace, que permite testar a presença de Processos de Poisson Homogéneos (HPP) (Dias, 2002). O teste poderá ser complementado com uma análise gráfica.

4.2 Análise das interrupções de produção

Considera-se uma interrupção da produção quando, por falhas intrínsecas ou extrínsecas ao sistema reparável, deixam de estar reunidas as condições mínimas de trabalho para assegurar o regime produtivo.

4.2.1 Causas das interrupções de produção

As falhas são originadas por um conjunto numeroso de causas que, segundo um critério definido pelo distribuidor, podem ser classificadas em: causas técnicas; causas de exploração; causas comerciais e causas externas.

As causas técnicas e as causas de exploração podem ser atribuídas ao sistema em análise e, portanto, consignadas directamente à responsabilidade da manutenção e da produção, respectivamente. No entanto, as falhas do projecto serão consignadas directamente à responsabilidade dos investimentos técnicos. As outras causas são consideradas estranhas ao sistema reparável.

Na figura (4.1) apresenta-se o diagrama de causa e efeito com as diversas causas referentes às falhas do sistema. No âmbito do trabalho, serão estudadas apenas as causas técnicas que dão origem a interrupções de produção, sendo as restantes indicadas a título informativo.

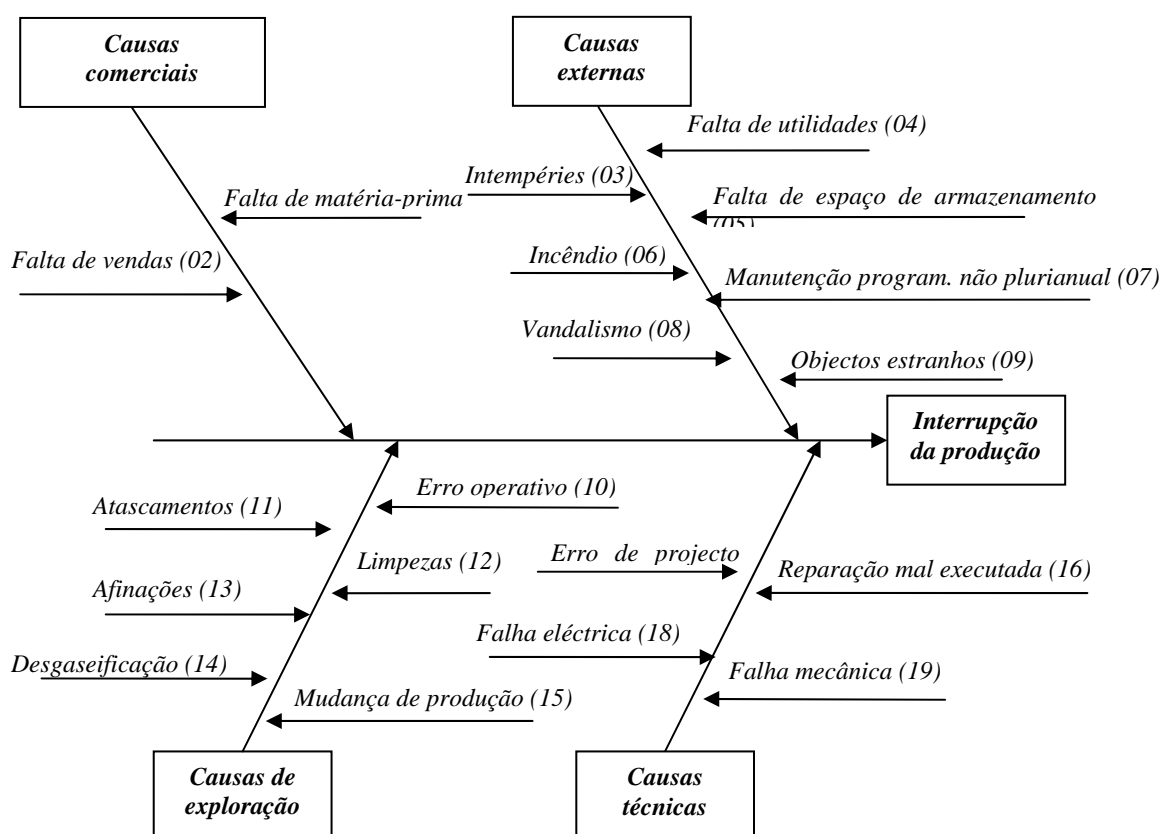


Fig. 4.1 – Diagrama de causa e efeito

As causas técnicas que dão origem a interrupções de produção podem ser resumidas da seguinte forma:

Reparação mal executada (16): Trabalho de manutenção eléctrica ou mecânica efectuado de forma deficiente.

Erro de projecto (17): Quando ocorre, os equipamentos obrigam a intervenções sucessivas de manutenção eléctrica ou mecânica para desempenharem correctamente a sua função.

Falha eléctrica (18): Anomalia em componentes eléctricos.

Falha mecânica (19): Anomalia em componentes mecânicos.

4.2.2 Análise da duração das interrupções de produção

As interrupções de produção ocorridas nos períodos de 21 de Agosto de 2003 a 12 de Agosto de 2004 e de 29 de Agosto de 2004 a 11 de Agosto de 2005 totalizaram 1398 horas de perda de produção. Na figura (4.2) encontra-se um Diagrama de Pareto que permite observar a influência das diversas causas para o tempo de interrupção de produção.

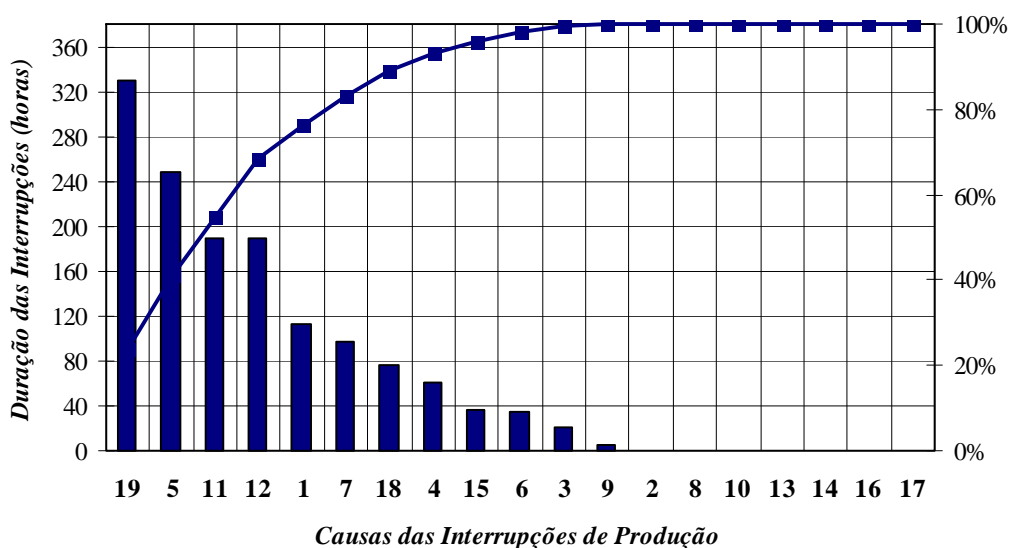


Fig. 4.2 – Diagrama de Pareto da totalidade das causas das interrupções de produção

As causas técnicas números 16, 17, 18 e 19 contribuem, no seu conjunto, para cerca de 29 % das interrupções de produção. De referir que as causas números 16 e 17 existem, mas apenas devido a defeito de registo, pelo que se encontram disfarçadas de falhas mecânicas ou eléctricas.

Se forem excluídas as causas estranhas ao sistema reparável em estudo, centrando a análise nas falhas técnicas e de exploração, observa-se através do Diagrama de Pareto (figura 4.3) que passam a contribuir, no seu conjunto, com 50% das interrupções da produção.

Sendo que as falhas mecânicas (19) contribuem com cerca de 40% da interrupção produtiva registada, enquanto que as falhas eléctricas (18) apenas provocam 10% dessa interrupção.

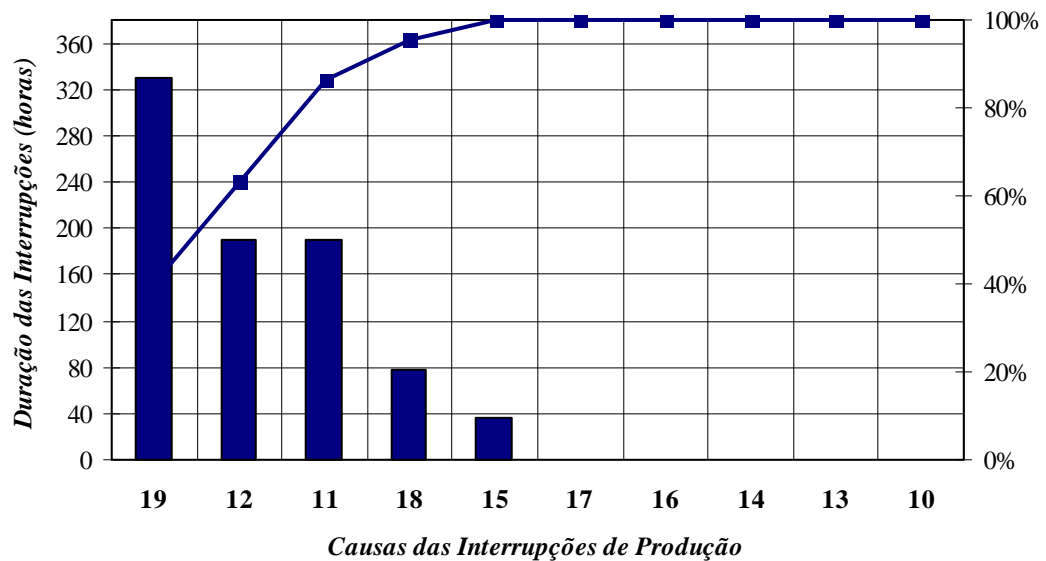


Fig. 4.3 – Diagrama de Pareto das causas técnicas e de exploração das interrupções de produção

4.2.2.1 Determinação dos tempos técnicos médios de reparação

Durante os dois ensaios ao sistema reparável em estudo – a Extracção I –, é avaliado o Tempo Técnico Médio de Reparação (MTTR) segundo a expressão (2.22), em primeiro lugar em termos globais, posteriormente, por subsistemas reparáveis de primeiro nível.

Verifica-se que o tempo médio de reparação passa de 60 para 90 minutos do primeiro para o segundo período. Esta situação contribuirá para a diminuição da disponibilidade do sistema.

No quadro (4.1) podem observar-se os tempos médios de reparação de cada subsistema de primeiro nível, durante o primeiro e o segundo ensaios.

Quadro 4.1 – Valores de MTTR para os subsistemas reparáveis durante os dois ensaios

<i>Subsistemas reparáveis</i>	<i>MTTR (horas)</i> <i>1.º ensaio</i>	<i>MTTR (horas)</i> <i>2.º ensaio</i>
<i>Transportadores de corrente</i>	1,23	2,31
<i>Bombas</i>	3,61	3,77
<i>Decantadores</i>	4,00	13,88
<i>Extractores</i>	0,72	0,82
<i>Sem-fim</i>	0,83	0,77
<i>Prensas</i>	0,31	0,51
<i>Condução de sólidos</i>	4,82	0,48
<i>Arrefecedores</i>	0,30	0,39
<i>Quadros eléctricos</i>	0,42	0,57
<i>Tararas</i>	2,34	1,58
<i>PLC</i>	-	3,08
<i>Dessolventizadores</i>	-	1,09
<i>Balanças</i>	0,58	0,83
<i>Ventiladores</i>	1,25	1,08
<i>Elevadores de alcatruzes</i>	1,25	0,42
<i>Cozedores</i>	0,55	-
<i>Granuladoras</i>	0,92	-

Constata-se que no segundo ensaio existe um agravamento substancial dos tempos técnicos médios de reparação dos decantadores. Também se agravam ligeiramente os dos transportadores de corrente.

Por outro lado, regista-se uma melhoria expressiva nos tempos técnicos médios de reparação do subsistema reparável condução de sólidos, bem como uma melhoria ligeira nos das tararas e dos elevadores de alcatruzes.

Nas figuras (4.4) e (4.5) apresentam-se os diagramas de Pareto para cada ensaio, de modo a ser possível observar a influência dos diversos subsistemas reparáveis para o tempo de interrupção de produção.

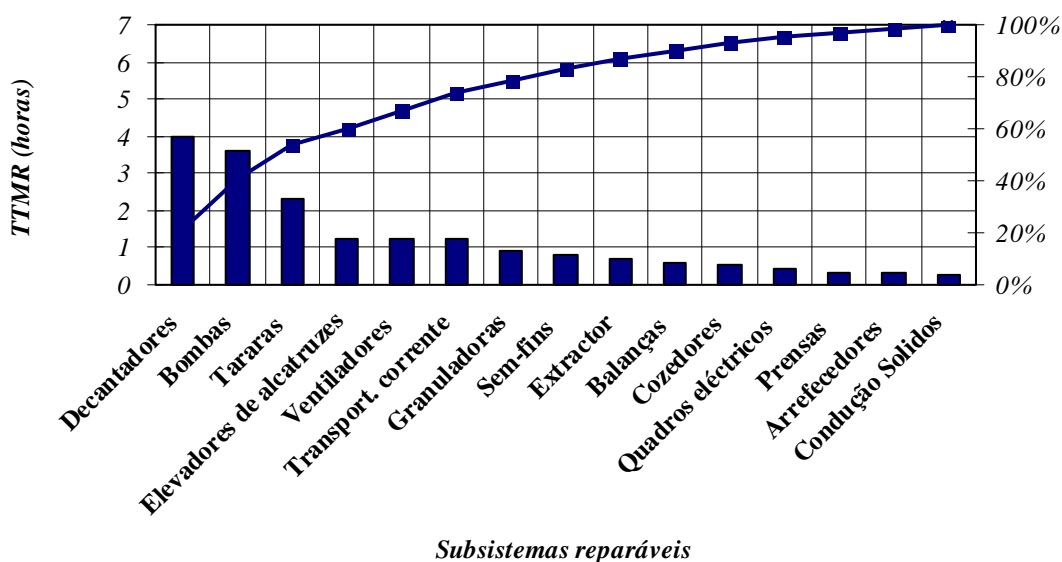


Fig. 4.4 – Diagrama de Pareto aplicado ao MTTR dos subsistemas reparáveis durante o 1.º ensaio

Relativamente ao primeiro ensaio, observa-se que existem três subsistemas reparáveis críticos quanto aos tempos técnicos médios de reparação, dado que se verifica que, no seu conjunto, representam 54% do tempo de interrupção da produção. Trata-se dos decantadores, com 22%, das bombas, com 19% e das tararas, com 13%.

Em termos práticos, a decomposição dos subsistemas reparáveis do primeiro nível em subsistemas reparáveis do segundo nível revela o decantador centrífugo, as bombas de água

salgada e a tarara de limpeza como sendo equipamentos com tempos técnicos de reparação extremamente elevados.

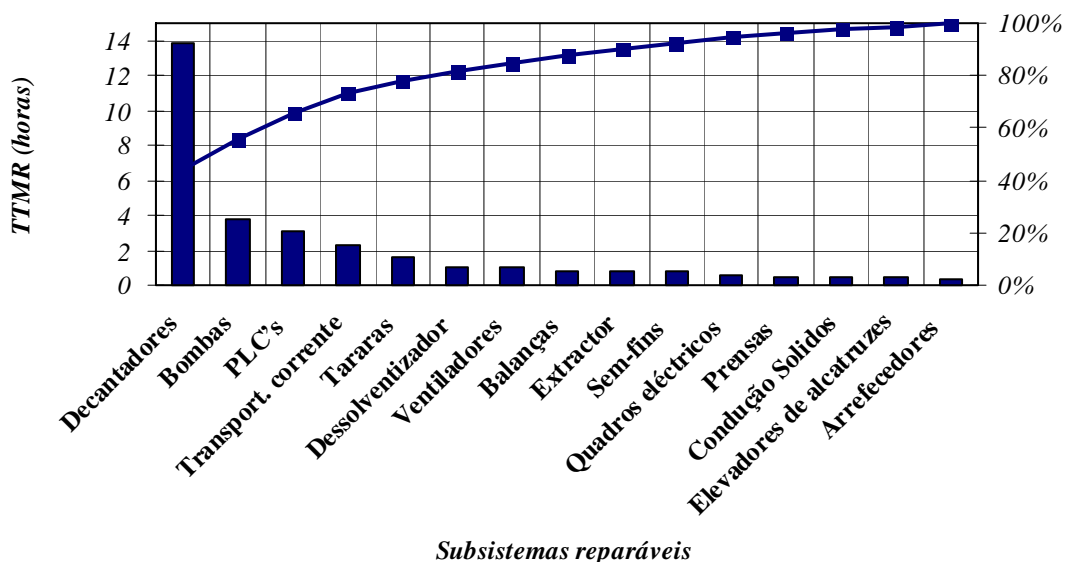


Fig. 4.5 – Diagrama de Pareto aplicado ao MTTR dos subsistemas reparáveis durante o 2.º ensaio

No segundo ensaio, como se pode constatar no Diagrama de Pareto apresentado na figura (4.5), o tempo técnico médio de reparação dos decantadores agravou-se substancialmente, passando a representar cerca de 44%. De notar que é o subsistema reparável de segundo nível decantador centrífugo que origina esta situação.

Perante esta constatação, dever-se-á dar especial atenção ao estudo da manutibilidade do referido equipamento. Para tal, deveria ser conhecida a decomposição do tempo técnico de reparação do mesmo em tempos parcelares das diversas acções constituintes, de acordo a metodologia de Ferreira (1998), apresentada no capítulo II.

No entanto, o estudo não pode ser desenvolvido, uma vez que o registo histórico das falhas não permite discriminar os tempos parciais que compõem os tempos técnicos da sua reparação.

4.3 Análise da ordem cronológica das falhas técnicas

Foram seleccionados os mesmos períodos de laboração anteriormente estudados, no âmbito da duração das falhas correspondentes aos ciclos de laboração contínua da instalação compreendidos entre as denominadas grandes manutenções anuais programadas de 2003, 2004 e 2005.

As falhas que se vão tratar ocorreram em subsistemas reparáveis e foram originadas exclusivamente por causas técnicas mecânicas ou eléctricas, que originaram interrupções na produção.

No primeiro ensaio, correspondente ao período entre 21 de Agosto de 2003 e 12 de Agosto de 2004, o sistema funcionou durante 357 dias consecutivos e ocorreram 205 falhas técnicas nos subsistemas reparáveis constituintes.

No segundo ensaio, correspondente ao período entre 29 de Agosto de 2004 e 11 de Agosto de 2005, o sistema funcionou durante 347 dias consecutivos e ocorreram 136 falhas devido a causas técnicas.

A consideração da Extracção I, no seu conjunto, como um sistema reparável e as famílias de equipamentos instalados como subsistemas, deverão ser analisados considerando a tendência e a independência dos dados.

4.3.1 Análise de tendência de dados do sistema reparável

A representação gráfica do número acumulado de falhas técnicas, em função do tempo de vida do sistema no momento da falha, permite visualizar o seu comportamento ao longo dos ensaios.

Na figura (4.6) é possível observar que a taxa de falhas do sistema reparável ao longo dos ensaios é constante, dado que se observam comportamentos lineares na evolução das falhas ao longo do tempo.

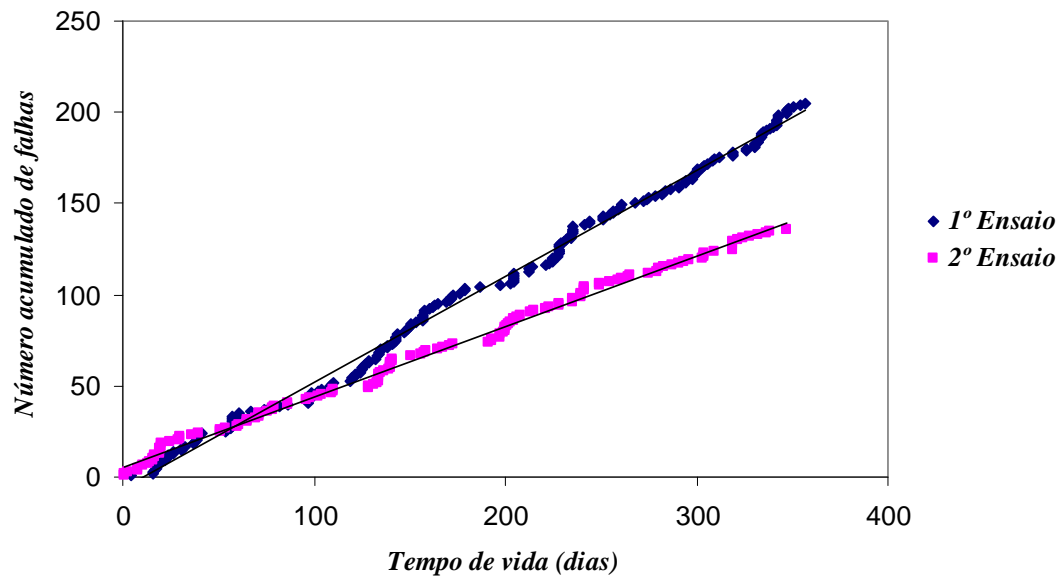


Fig. 4.6 – Representação do número acumulado de falhas em função do tempo de duração do sistema

Embora a representação gráfica permita uma avaliação visual do comportamento do sistema reparável relativamente à taxa de falhas, a mesma deve ser confirmada analiticamente através da aplicação do Teste de Laplace.

Deste modo, aplicando a expressão (2.9) para o primeiro ensaio, resulta um valor de z_0 , igual a 1,36, o que não permite rejeitar a hipótese nula (H_0 : HPP) para um nível de significância de 5%. Assim, poder-se-á chegar à conclusão de que se está perante um Processo de Poisson Homogéneo (HPP), que do ponto de vista do sistema pode representar uma taxa de falhas constante.

Do mesmo modo, para o segundo ensaio o Teste de Laplace conduz a um valor de z_0 , igual a -1,24, o que não permite igualmente rejeitar a hipótese nula (H_0 : HPP) para um nível de significância de 5%; podemos concluir que se está também perante um Processo de Poisson Homogéneo (HPP), que do ponto de vista do sistema pode representar uma taxa de falhas constante.

Assim, somos levados a admitir que as falhas técnicas ocorreram no sistema reparável de forma aleatória, com taxas de falha constantes durante os dois ensaios, pelo que o número

médio de falhas é dado por $N(t) = 0,574 t$, para o primeiro e por $N(t) = 0,392 t$, para o segundo.

O inverso da taxa de falhas representa, na prática, o valor do MTBF da instalação. Sendo o $MTBF_{1.º \text{ ensaio}}$ igual a 1,7 dias e o $MTBF_{2.º \text{ ensaio}}$ igual a 2,5 dias, conclui-se que o tempo médio entre falhas apresenta uma melhoria do primeiro período para o segundo período.

4.3.2 Análise de tendência de dados dos subsistemas reparáveis de primeiro nível

Para cada ensaio foi calculado o Teste de Laplace, considerando o comportamento de ocorrência das falhas nos diversos subsistemas de primeiro nível afectos ao sistema em estudo, de acordo com a classificação do Anexo I.

A aplicação do Teste de Laplace para a ocorrência das falhas técnicas durante o primeiro ensaio conduziu a valores de z_0 que não permitem rejeitar a hipótese nula (H_0 : HPP), para um nível de significância de 5% relativo a todos os subsistemas de primeiro nível, com excepção dos arrefecedores e dos transportadores de corrente.

Assim, poder-se-á concluir que se está perante um Processo de Poisson não Homogéneo (NHPP), que do ponto de vista dos subsistemas pode representar uma taxa de falhas decrescente para os arrefecedores e crescente para os transportadores de corrente; poder-se-á ainda concluir que se está perante um Processo de Poisson Homogéneo (HPP), que do ponto de vista dos subsistemas pode representar uma taxa de falhas constante para os restantes subsistemas.

Relativamente ao segundo ensaio, procedeu-se de forma análoga aplicando o Teste de Laplace para a ocorrência das falhas técnicas. Conduziu a valores de z_0 , que não permitem rejeitar a hipótese nula (H_0 : HPP), para um nível de significância de 5% em relação à generalidade dos subsistemas reparáveis de primeiro nível, com excepção dos sem-fim, dos extractores e dos quadros eléctricos.

Da mesma forma se pode concluir que se está perante subsistemas com taxa de falhas constante para a generalidade dos casos, com excepção dos sem-fim, dos extractores e dos

quadros eléctricos; estes comportam-se de acordo com Processos de Poisson Não Homogéneos (NHPP), reflectindo subsistemas com taxa de falhas crescente, no caso dos extractores e dos sem-fim e com taxa de falhas decrescente, no caso dos quadros eléctricos.

As taxas de falhas decrescentes podem ser modeladas pelo Modelo de Crow, também designado por Modelo de Fiabilidade Crescente. A expressão (2.14) representa a taxa de falhas variável com o tempo de vida do subsistema no momento da falha. Os coeficientes podem ser obtidos pelo método de máxima verosimilhança, de acordo com as expressões (2.15) e (2.16). Os valores destes coeficientes, quer utilizando as expressões indicadas, quer a expressão para a taxa de falhas encontram-se no quadro (4.2).

Quadro 4.2 – Valores dos coeficientes e expressão para a taxa de falhas dos arrefecedores (1.º ensaio) e dos quadros eléctricos (2.º ensaio)

<i>Ensaio</i>	<i>Subsistema de 1.º nível</i>	$\hat{\lambda}^*$	$\hat{\beta}^*$	<i>Taxa de falhas decrescente</i>
<i>1.º ensaio</i>	<i>Arrefecedores</i>	0,880	0,683	$\hat{\rho}(\tau) = 0,601.\tau^{-0,317}$
<i>2.º ensaio</i>	<i>Quadros eléctricos</i>	0,469	0,614	$\hat{\rho}(\tau) = 0,288.\tau^{-0,386}$

A expressão da taxa de falhas permite estimar o valor do MTBF para as falhas ocorridas nos arrefecedores e nos quadros eléctricos. A representação gráfica da ordem cronológica das falhas dos referidos subsistemas, bem como o número esperado de falhas durante o primeiro e o segundo ensaios, encontram-se, respectivamente, nas figuras (4.7) e (4.8).

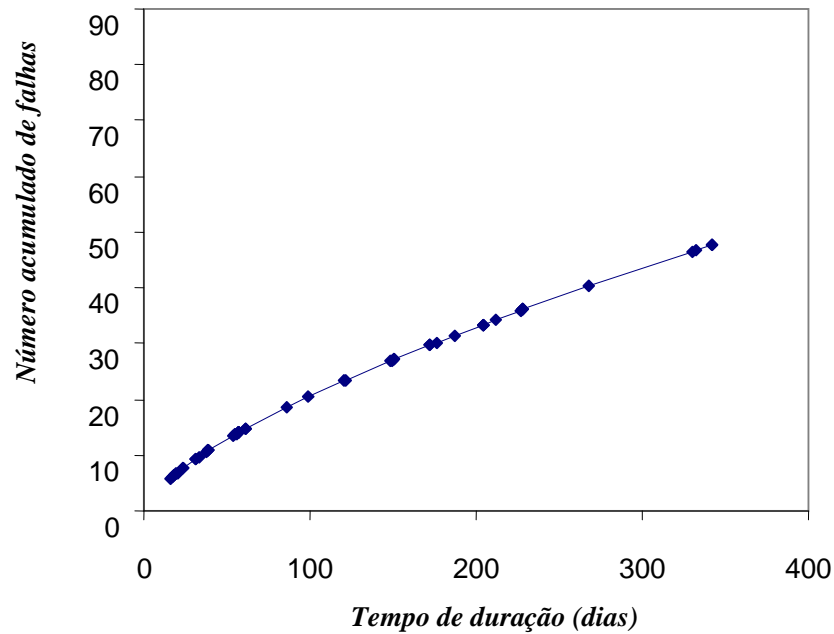


Fig. 4.7 – Representação da ordem cronológica das falhas dos arrefecedores e respectivo valor esperado, ajustado pelo Modelo de Crow durante o 1.º ensaio

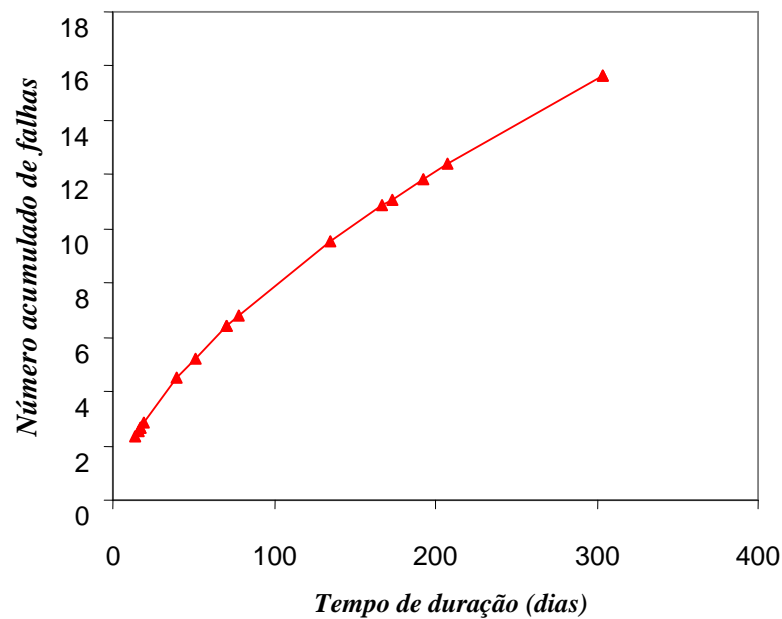


Fig. 4.8 – Representação da ordem cronológica das falhas dos quadros eléctricos e respectivo valor esperado, ajustado pelo Modelo de Crow durante 2.º ensaio

O inverso da taxa de falhas representa o valor esperado do MTBF. Este estimador do tempo médio entre falhas pode fornecer uma indicação valiosa sobre o comportamento dos

subsistemas reparáveis em estudo (figuras 4.9 e 4.10). Como se pode verificar, o tempo médio entre falhas melhora substancialmente, revelando que, de uma maneira geral, a generalidade dos arrefecedores e dos quadros eléctricos apresenta uma melhoria significativa ao longo do tempo.

Do ponto de vista dos subsistemas reparáveis, isto significa que a família dos arrefecedores e dos quadros eléctricos apresenta uma tendência para taxas de falhas decrescentes, ou seja, com tempos maiores desde a última falha para as observações finais dos ensaios.

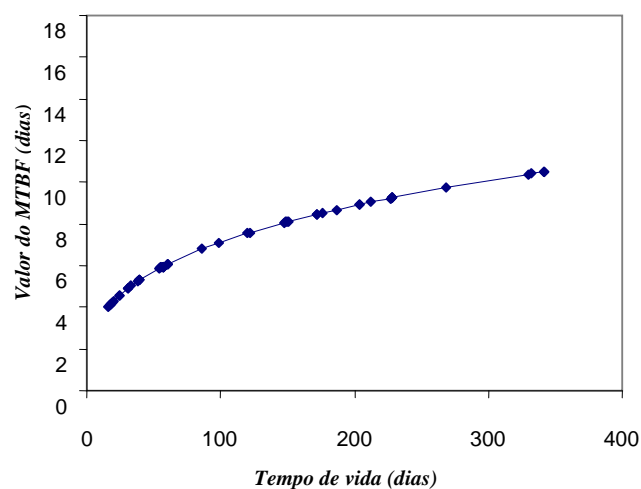


Fig. 4.9 – Valor esperado do MTBF dos arrefecedores durante o 1.º ensaio

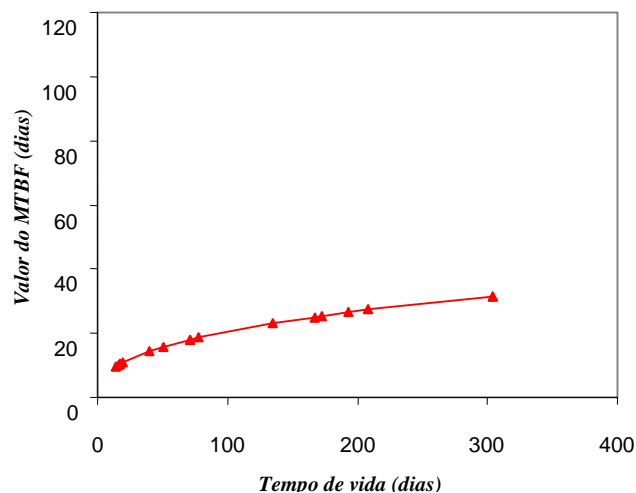


Fig. 4.10 – Valor esperado do MTBF dos quadros eléctricos durante o 2.º ensaio

No quadro (4.3) pode observar-se o comportamento das falhas por técnicas ocorridas durante o primeiro ensaio, distribuídas pelos respectivos subsistemas de primeiro nível e renunciando os mais críticos.

Permite-nos ainda analisar o comportamento das famílias de equipamentos afectos à Extracção I, durante o primeiro ensaio. Verifica-se maior criticidade na família dos transportadores de corrente, devido à tendência que apresentam para o crescimento da taxa de falhas, aliada ao facto de nos mostrar um estimador para o tempo médio entre falhas extremamente reduzido. Este comportamento, de acordo com o valor obtido para o Teste de Laplace, vem confirmar a evolução negativa no caso dos transportadores de corrente.

Relativamente aos arrefecedores, verifica-se uma melhoria dado que apresentam uma tendência decrescente de ocorrência de falhas, embora nos mostre um estimador para o tempo médio entre falhas bastante baixo. Quanto aos restantes subsistemas, de acordo com os valores obtidos para o Teste de Laplace, demonstra-se que as falhas técnicas ocorrem de um modo aleatório e possuem tempos entre falhas constantes, dado que assumem Processos de Poisson Homogéneos (HPP).

Quadro 4.3 – Valores CMTBF para o 1.º ensaio de 357 dias

<i>Subsistemas reparáveis</i>	<i>Teste de Laplace</i>	<i>Número de falhas</i>	<i>CMTBF (dias)</i>	<i>Taxa de falhas</i>
<i>Transportadores de corrente</i>	<i>3,79</i>	<i>79</i>	<i>3,15</i>	<i>Crescente</i>
<i>Arrefecedores</i>	<i>-3,80</i>	<i>49</i>	<i>10,72</i>	<i>Decrescente</i>
<i>Sem-fim</i>	<i>0,75</i>	<i>21</i>	<i>17,00</i>	<i>Constante</i>
<i>Prensas</i>	<i>1,58</i>	<i>12</i>	<i>29,75</i>	<i>Constante</i>
<i>Tararas</i>	<i>-1,26</i>	<i>9</i>	<i>39,67</i>	<i>Constante</i>
<i>Bombas</i>	<i>-0,65</i>	<i>6</i>	<i>59,50</i>	<i>Constante</i>
<i>Cozedores</i>	<i>1,22</i>	<i>3</i>	<i>119,00</i>	<i>Constante</i>
<i>Elevadores de alcatruzes</i>	<i>-0,90</i>	<i>6</i>	<i>59,50</i>	<i>Constante</i>
<i>Balanças</i>	<i>1,30</i>	<i>3</i>	<i>119,00</i>	<i>Constante</i>
<i>Condutores de sólidos</i>	<i>0,98</i>	<i>3</i>	<i>119,00</i>	<i>Constante</i>
<i>Extractores</i>	<i>-0,76</i>	<i>3</i>	<i>119,00</i>	<i>Constante</i>
<i>Granuladoras</i>	<i>1,13</i>	<i>3</i>	<i>119,00</i>	<i>Constante</i>
<i>Quadros eléctricos</i>	<i>0,44</i>	<i>3</i>	<i>119,00</i>	<i>Constante</i>
<i>Ventiladores</i>	<i>0,97</i>	<i>3</i>	<i>119,00</i>	<i>Constante</i>
<i>Decantadores</i>	<i>1,43</i>	<i>1</i>	<i>357,00</i>	<i>Constante</i>

No quadro (4.4), podemos observar o comportamento das falhas técnicas ocorridas durante o último ensaio, distribuídas pelos respectivos subsistemas de primeiro nível.

Continua a ser a família dos transportadores de corrente uma das mais críticas em termos de ocorrência de falhas técnicas, dado que continua a ter um estimador para o tempo médio entre falhas bastante baixo. Passou a ter uma taxa de falhas constante, o que significa que o respectivo MTBF passou a ser constante também, deixando de ser crescente como acontecia no primeiro ensaio.

No entanto, durante o segundo ensaio alguns subsistemas surgiram com tendência crescente da taxa de falhas, como os extractores e os sem-fim; se aliarmos ao facto de apresentarem estimadores para o tempo entre falhas bastante baixos, evidenciam alguma criticidade.

Quanto aos restantes subsistemas, de acordo com os valores obtidos para o Teste de Laplace, demonstra-se que as falhas técnicas ocorrem de um modo aleatório e possuem tempos entre si constantes, dado que assumem Processos de Poisson Homogéneos (HPP).

Quadro 4.4 – Valores CMTBF para o 2.º ensaio de 347 dias

<i>Subsistemas reparáveis</i>	<i>Teste de Laplace</i>	<i>Número de falhas</i>	<i>CMTBF (dias)</i>	<i>Taxa de falhas</i>
<i>Transportadores de corrente</i>	-1,49	39	8,90	<i>Constante</i>
<i>Sem-fim</i>	2,09	10	16,22	<i>Crescente</i>
<i>Extractores</i>	2,39	5	16,71	<i>Crescente</i>
<i>Condutores de sólidos</i>	-0,14	15	23,13	<i>Constante</i>
<i>Prensas</i>	0,13	15	23,13	<i>Constante</i>
<i>Arrefecedores</i>	-0,57	14	24,79	<i>Constante</i>
<i>Quadros eléctricos</i>	-2,59	17	33,20	<i>Decrescente</i>
<i>Bombas</i>	0,39	8	43,38	<i>Constante</i>
<i>Tararas</i>	-0,82	3	115,67	<i>Constante</i>
<i>Balanças</i>	-1,64	2	173,50	<i>Constante</i>
<i>Decantadores</i>	-0,63	2	173,50	<i>Constante</i>
<i>Dessolventizadores</i>	-0,40	2	173,50	<i>Constante</i>
<i>Elevadores de alcatruzes</i>	-1,08	1	347,00	<i>Constante</i>
<i>PLC</i>	0,25	1	347,00	<i>Constante</i>
<i>Ventiladores</i>	-0,34	1	347,00	<i>Constante</i>

4.4 Análise da disponibilidade

Conhecendo os MTBF da instalação calculados anteriormente, em que o $MTBF_{1.º \text{ ensaio}}$ é de 1,7 dias e o $MTBF_{2.º \text{ ensaio}}$ é de 2,5 dias, conclui-se, através da aplicação da expressão (2.23), que os valores de disponibilidade da instalação são de 96,45% e 98,15%, respectivamente. Verifica-se, desta forma, um incremento significativo da disponibilidade global da instalação.

De igual forma se consegue determinar a disponibilidade de cada subsistema reparável de primeiro nível, aplicando a expressão (2.23). Verificou-se durante o primeiro ensaio que os transportadores de corrente apresentavam o valor mais baixo de disponibilidade de todos os subsistemas de primeiro nível, como se pode observar no quadro (4.5). Isso resulta do facto do CMTBF ser bastante baixo.

Por outro lado, embora o índice de fiabilidade dos decantadores seja bastante elevado, a sua disponibilidade é prejudicada pela sua fraca manutibilidade.

Quadro 4.5 – Valores de CMTBF e de MTTR para o 1.º ensaio de 357 dias

<i>Subsistemas reparáveis</i>	<i>CMTBF (horas)</i>	<i>MTTR (horas)</i>	<i>Disponibilida de</i>
<i>Transportadores de corrente</i>	75,6	1,23	98,40%
<i>Tararas</i>	952	2,34	99,75%
<i>Bombas</i>	1428	3,61	99,75%
<i>Sem-fim</i>	408	0,83	99,80%
<i>Condutores de sólidos</i>	2856	4,82	99,83%
<i>Arrefecedores</i>	257	0,30	99,88%
<i>Elevadores de alcatruzes</i>	1428	1,25	99,91%
<i>Decantadores</i>	8568	4,00	99,95%
<i>Prensas</i>	714	0,31	99,96%
<i>Ventiladores</i>	2856	1,25	99,96%
<i>Granuladoras</i>	2856	0,92	99,97%
<i>Extractores</i>	2856	0,72	99,97%
<i>Cozedores</i>	2856	0,55	99,98%
<i>Balanças</i>	2856	0,58	99,98%
<i>Quadros eléctricos</i>	2856	0,42	99,99%

No segundo ensaio, verifica-se que o indicador de fiabilidade dos transportadores de corrente melhorou. No entanto, apresentam tempos de duração de reparação superiores às do primeiro período. Os decantadores continuam a apresentar um indicador de manutibilidade crítico, como se constata no quadro (4.6) a seguir.

Quadro 4.6 – Valores de CMTBF e de MTTR para o 2.º ensaio de 347 dias

<i>Subsistemas reparáveis</i>	<i>CMTBF (horas)</i>	<i>MTTR (horas)</i>	<i>Disponibilida de</i>
<i>Transportadores de corrente</i>	213	2,31	98,93%
<i>Bombas</i>	1041	3,77	99,64%
<i>Decantadores</i>	4164	13,88	99,67%
<i>Extractores</i>	401	0,82	99,80%
<i>Sem-fim</i>	389	0,77	99,80%
<i>Prensas</i>	555	0,51	99,91%
<i>Condutores de sólidos</i>	555	0,48	99,91%
<i>Arrefecedores</i>	594	0,39	99,93%
<i>Quadros eléctricos</i>	796	0,57	99,93%
<i>Tararas</i>	2776	1,58	99,94%
<i>PLC</i>	8328	3,08	99,96%
<i>Dessolventizadores</i>	4164	1,09	99,97%
<i>Balanças</i>	4164	0,83	99,98%
<i>Ventiladores</i>	8328	1,08	99,99%
<i>Elevadores de alcatruzes</i>	8328	0,42	99,99%

Na figura (4.11) apresenta-se o histograma das disponibilidades, onde se constata que os transportadores de corrente são o subsistema reparável de primeiro nível que apresenta um indicador de disponibilidade crítico, embora tenha uma evolução positiva bastante significativa no segundo ensaio.

Por último, constata-se que são os subsistemas reparáveis, transportadores de corrente, bombas, sem-fim e decantadores os principais responsáveis por não permitirem que a disponibilidade do sistema aumente.

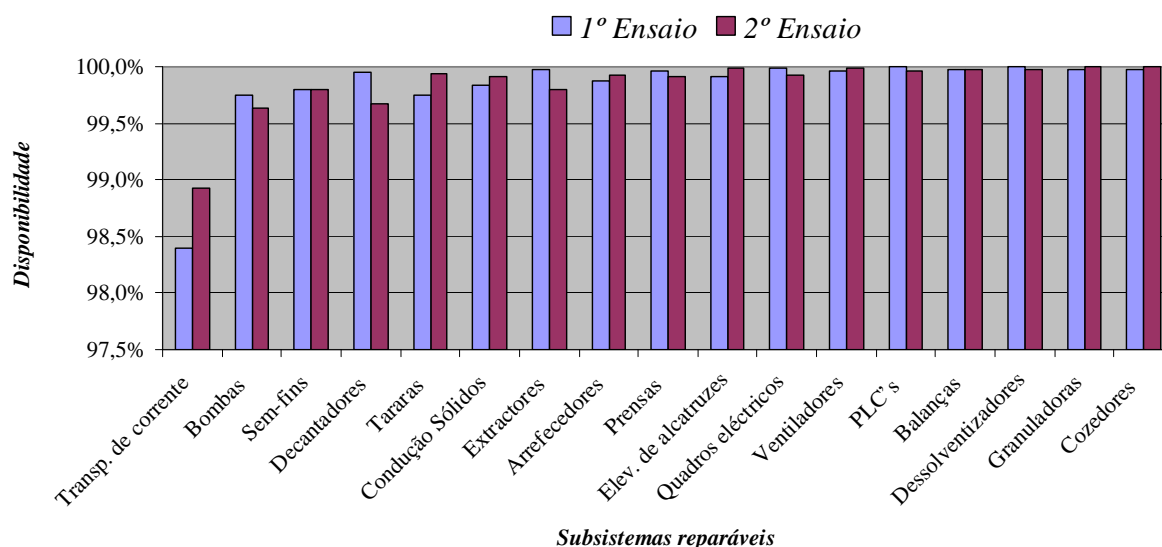


Fig. 4.11 – Disponibilidade dos subsistemas reparáveis durante os dois ensaios

4.5 Discussão dos resultados

O diagrama de causa e efeito desenvolvido pretende reflectir a totalidade das causas que originam as interrupções da produção na Extracção I. Contudo, dever-se-á referir que o critério do registo das falhas é ligeiramente distinto, embora quanto às causas técnicas se assemelhe bastante, facto que facilitou o tratamento dos dados recolhidos.

Todos os aspectos referentes à recolha e tratamento de dados relativos às interrupções de produção assentam em registos da produção. Esta situação, no entanto, deveria evoluir para a integração dos dados na aplicação informática de SAP recentemente instalada.

A avaliação das interrupções de produção abordadas no presente capítulo referem-se apenas a causas técnicas, pelo que não foram analisadas as interrupções provocadas pelas restantes causas.

A análise desenvolvida parece evidenciar potencialidades para a sua implementação prática, permitindo acrescentar valor em duas vertentes: fornecer indicadores que permitam orientar os esforços da manutenção; permitir otimizar as tarefas da manutenção programadas anualmente.

4.5.1 Avaliação global das falhas técnicas da Extracção I

Este tipo de falhas é responsável por cerca de metade das interrupções da produção, considerando apenas as falhas intrínsecas à instalação, ou seja, falhas técnicas e falhas de exploração; destas, 75% são de natureza mecânica e as restantes 25% de origem eléctrica.

Relativamente aos ensaios realizados, constata-se que a Extracção I apresenta uma taxa de falhas constante nos dois ensaios e que apresenta uma evolução positiva em termos de disponibilidade. Verificou-se um agravamento no tempo técnico médio de reparação a nível global durante o segundo ensaio, mas como o indicador da fiabilidade da instalação melhorou significativamente, isso reflectiu-se numa melhoria da disponibilidade global da instalação.

4.5.2 Avaliação das falhas técnicas dos subsistemas reparáveis da Extracção I

Existe um subsistema cuja disponibilidade se destaca dos demais, por ser significativamente mais baixa: trata-se da família dos transportadores de corrente. Esta situação resulta, principalmente, do facto de apresentar uma taxa de falhas muito elevada, embora tenha diminuído durante o segundo ensaio.

A aplicação do Teste de Laplace permitiu ainda verificar que durante o primeiro ensaio apresentava uma taxa de falhas crescente, situação que se alterou para uma taxa de falhas constante no segundo ensaio.

Durante o segundo ensaio foram os subsistemas extractores e sem-fim que revelaram taxas de falhas crescentes. Por outro lado, verificou-se a existência de dois subsistemas com fiabilidade crescente: no primeiro ensaio, os arrefecedores, e no segundo, os quadros eléctricos. Foi possível também verificar que os restantes subsistemas apresentavam taxa de falhas constantes.

Relativamente aos tempos técnicos de reparação dos subsistemas existentes, existe um cuja situação deverá ser oportunamente analisada, uma vez que provoca interrupções de produção muito demoradas – trata-se da família dos decantadores.

CAPÍTULO V

ANÁLISE E MODELAÇÃO DAS FALHAS E REPARAÇÕES NOS TRANSPORTADORES DE CORRENTE

1. Introdução

2. Caracterização do subsistema reparável – transportadores de corrente

3. Elaboração da Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA)

4. Planeamento da manutenção preventiva

5. Discussão dos resultados

5.1 Introdução

Como referido no capítulo IV, o sistema reparável em estudo – Extracção 1 –, é constituído por diversos subsistemas reparáveis, que por sua vez resultaram do agrupamento de equipamentos com funções similares e com órgãos e componentes idênticos. Neste capítulo, procurar-se-á definir um planeamento de manutenção preventiva para o subsistema dos transportadores de corrente, o que revelou maior taxa de falhas durante os ensaios realizados.

Em primeiro lugar, proceder-se-á a sua análise por órgãos e por componentes, de modo a estudar os seus modos de falha através da aplicação da metodologia Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA). Esta abordagem qualitativa permite fazer a atribuição de critérios de ocorrência de falhas, de gravidade dos efeitos e de detectabilidade dos respectivos modos de falha; permite ainda quantificar a severidade desses modos de falha.

Associando os modos de falha aos componentes, consegue-se determinar o órgão ou o componente crítico que será o foco da análise e da modelação das respectivas falhas e reparações. Procura-se estabelecer para esse componente uma gama de acções de manutenção preventiva, com periodicidades ajustadas por distribuições estatísticas, nomeadamente, usando a distribuição de *Weibull*.

Por outro lado, procurar-se-á determinar os modos de falha com efeitos mais graves para a disponibilidade ou para a segurança operacional da Extracção 1, assim como implementar as medidas de prevenção aconselhadas, tal como se fez para o componente ou os componentes críticos.

Estabelecer-se-á também uma gama de medidas de manutenção preventivas de carácter geral, para completar o planeamento de manutenção preventiva a aplicar ao subsistema em análise.

Definir-se-á, por fim, o ciclo óptimo das gamas de manutenção preventiva baseado na análise de custos. Para tal, serão tidos em conta: a distribuição da densidade de probabilidade de falhas; a distribuição da densidade de probabilidade de reparação; os custos com a implantação das gamas de manutenção preventiva definidas; os custos actuais de manutenção correctiva

5.2 Caracterização do subsistema reparável – transportadores de corrente

5.2.1 Funcionamento dos transportadores de corrente

Durante os períodos em estudo, este sistema reparável dispunha de um circuito de transporte constituído por vinte e dois transportadores de corrente, distribuídos pelos diferentes sectores da instalação como se apresenta na figura (5.1),

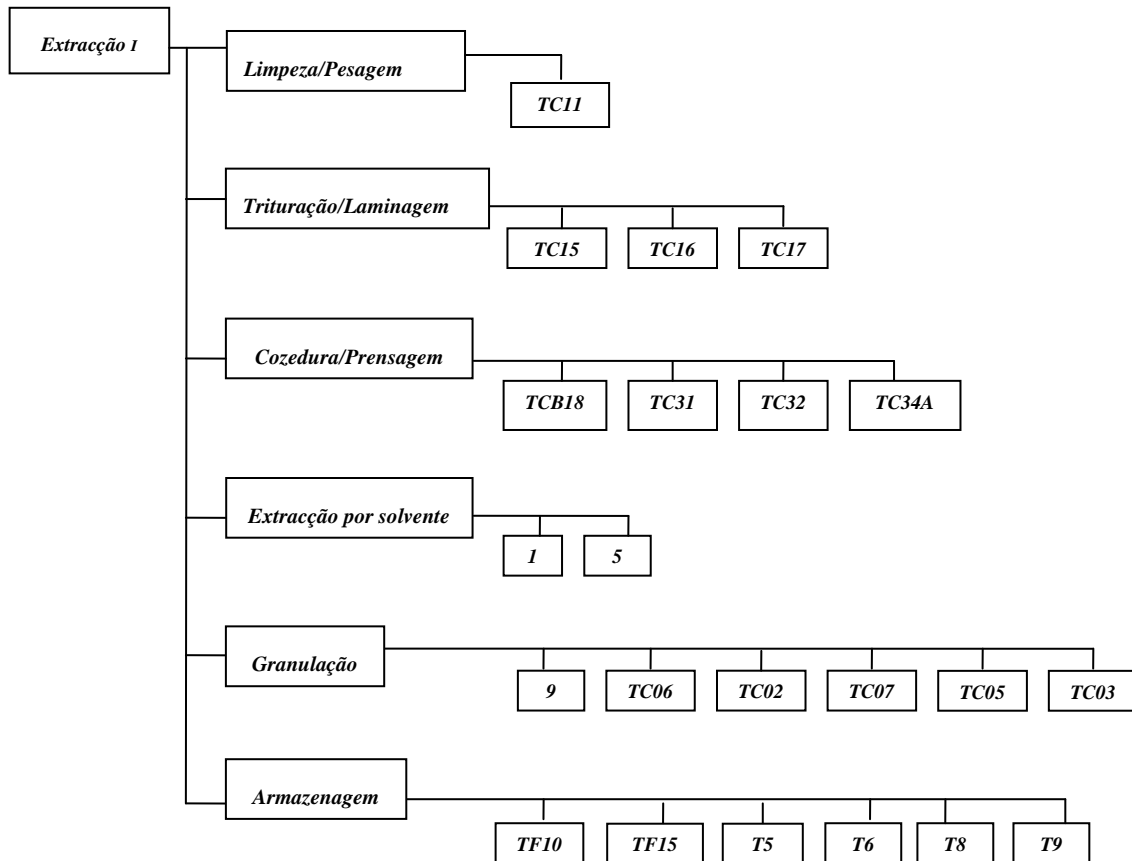


Fig. 5.1 – Transportadores de corrente agrupados por sectores

5.2.2 Decomposição dos transportadores de corrente

Os transportadores de corrente podem ser agrupados em dois tipos: transportadores lineares e transportadores combinados. No sistema em causa existem apenas quatro transportadores combinados, sendo os restantes lineares.

Os transportadores combinados são instalados quando o ângulo de inclinação de transporte de produto excede os 20-25°, inclinação a partir da qual os transportadores lineares apresentam rendimentos de capacidade bastante baixos.

Todos os transportadores de corrente são constituídos por órgãos e componentes idênticos, de acordo com a decomposição apresentada na figura (5.2). No entanto, de referir que apenas os transportadores combinados necessitam de embraiagem hidráulica.

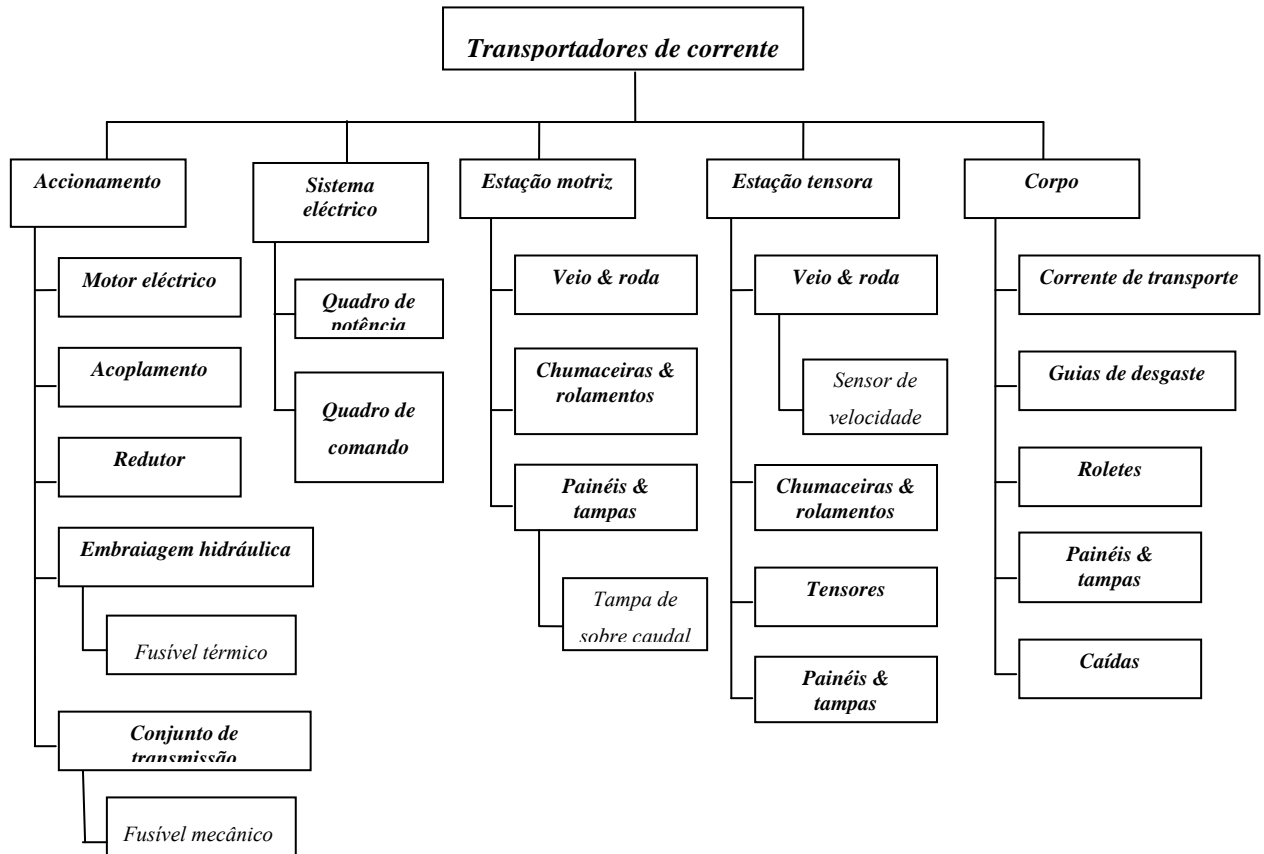


Fig. 5.2 – Decomposição hierárquica dos transportadores de corrente

5.3 Elaboração da Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA)

Após a apresentação do contexto operacional dos transportadores de corrente, e a respectiva decomposição hierárquica por órgãos e componentes, foi aplicada a metodologia de gestão da qualidade conhecida por Análise Modal de Falhas e Efeitos ao subsistema reparável em estudo.

Definiram-se os critérios de ocorrência, gravidade (e efeitos) e detectabilidade das falhas que melhor reflectissem a realidade dos transportadores de corrente afectos à Extracção I.

5.3.1 Definição dos critérios de ocorrência, gravidade e detectabilidade das falhas

Através da determinação da probabilidade de, uma vez ocorrida a causa, esta provocar o modo de falha, é possível atribuir-se um determinado índice de ocorrência ao mesmo. A classificação de ocorrência de falhas que melhor retrata a realidade do subsistema em estudo, segue o critério constante no quadro (5.1),

Quadro 5.1 – Classificação atribuída à ocorrência

<i>Probabilidade de ocorrência</i>	<i>Critério: MTBF</i>	<i>Índice</i>
Muito alta	MTBF inferior a 15 dias (360 horas)	6
Alta	MTBF igual ou superior a 15 dias (360 horas) e inferior a 80 dias (1920 horas)	5
Moderada	MTBF igual ou superior a 80 dias (1920 horas) e inferior a 170 dias (4080 horas)	4
Baixa	MTBF igual ou superior a 170 dias (4080 horas) e inferior a 260 dias (6240 horas)	3
Muito baixa	MTBF igual ou superior a 260 dias (6240 horas) e inferior a 350 dias (8400 horas)	2
Remota	MTBF igual ou superior a 350 dias (8400 horas)	1

A atribuição de um índice de gravidade aos efeitos dos modos de falha permite a análise da sua gravidade, quer em relação ao próprio órgão, ao subsistema ou ao sistema reparável em causa. O índice de gravidade dos efeitos dos modos de falha no subsistema pode ser classificado de acordo com o quadro (5.2),

Quadro 5.2 – Classificação atribuída à gravidade do efeito

<i>Efeito</i>	<i>Critério: gravidade do efeito</i>	<i>Índice</i>
Catastrófico	Paragem igual ou superior a 300 minutos (5 horas) ou problemas potenciais de segurança	6
Muito crítico	Paragem de 120 minutos (2 horas) a 300 minutos (5 horas)	5
Crítico	Paragem de 60 minutos (1 hora) a 120 minutos (2 horas)	4
Grave	Paragem de 30 minutos a 60 minutos (1 hora)	3
Maior	Paragem de 15 minutos a 30 minutos	2
Menor	Paragem inferior a 15 minutos	1

Através da determinação da probabilidade dos meios de controlo implementados detectarem ou não a causa de um modo de falha, é possível atribuir-se um índice de não detecção de cada causa. A probabilidade de não detecção das falhas para o subsistema em estudo pode seguir o critério do quadro (5.3),

Quadro 5.3 – Classificação atribuída à probabilidade de não detecção

<i>Probabilidade de detecção</i>	<i>Probabilidade de detecção</i>	<i>Índice de não detecção</i>
Muito Baixa	Não existe nenhum sinal que antecipe a ocorrência de falha	4
Baixa	Existência de sinal dificilmente detectável pelo operador ou técnico de manutenção	3
Moderada	Existência de sinal, mas com risco do mesmo não ser detectado pelo operador ou técnico de manutenção	2
Alta	Existência de um sinal que é facilmente detectável pelo operador ou técnico de manutenção	1

5.3.2 Determinação e análise do índice de severidade dos modos de falha

A partir da atribuição dos índices anteriormente apresentados para cada modo de falha, obtidos através da Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA) e constantes no Anexo II, é possível calcular os respectivos índices de severidade. Estes são obtidos pelo produto da classificação atribuída à ocorrência, à severidade e à detectabilidade.

A aplicação dos índices a todas as causas potenciais dos modos de falha permite hierarquizar as prioridades de acção, permitindo reimplementar um plano de manutenção aos modos de falha com índices de severidade elevados. O quadro (5.4) apresenta os modos de falha possíveis do subsistema em estudo, por ordem decrescente do índice de severidade (IS).

Quadro 5.4 – Classificação dos modos de falha por índice de severidade

<i>#</i>	<i>Código</i>	<i>Modo de falha</i>	<i>Órgão/componente</i>	<i>IS</i>
1	CP-1.1-01	Ruptura das barras por fadiga	Corpo/corrente de transporte	258
2	AC-3.1-01	Nível de óleo baixo	Embraiagem hidráulica/retentores	126

3	AC-5.1-01	Desgaste anormal do dentado dos carretos	Conjunto transmissão/carretos	112
5	ET-1.3-01	Não actuação do sensor de velocidade	Estação tensora/sensor de velocidade	72
6	CP-1.1-02	Degolação acelerada das cavilhas	Corpo/corrente de transporte	72
13	SE-1.2-01	Disparo dos relés térmicos	Quadro de potência/relés térmicos	70
7	AC-3.4-01	Disparo do fusível térmico	Embraiagem hidráulica/fusível térmico	64
8	ET-1.2-01	Esticamento defeituoso da corrente de transporte	Estação tensora/tensores	54
9	AC-5.2-01	Ruptura da corrente de transmissão	Conjunto transmissão/corrente de transmissão	48
10	AC-5.3-01	A segurança não actua	Conjunto transmissão/fusível mecânico	48
15	AC-3.2-01	Sobre aquecimento da embraiagem	Embraiagem hidráulica/pratos da embraiagem	48
12	EM-1.5-01	A segurança não actua	Estação motriz/tampa sobre caudal	45
14	AC-1.1-01	Gripagem de rolamentos	Motor eléctrico/rolamentos	42
11	SE-1.3-01	Falhas dos contactores	Quadro de potência/contactores	40
4	SE-1.1-01	Fusíveis queimados	Quadro de potência/fusíveis	36
16	AC-3.3-01	Gripagem de rolamentos	Embraiagem hidráulica/rolamentos	36
17	AC-4.1-01	Desgaste anormal do dentado das engrenagens	Redutor/engrenagens	36
18	AC-4.2-01	Nível de óleo baixo	Redutor/retentores	36
19	AC-4.3-01	Gripagem dos rolamentos	Redutor/rolamentos	36
20	EM-1.1-01	Gripagem dos rolamentos	Estação motriz/rolamentos	36
21	EM-1.2-01	Engrenamento incorrecto do dentado	Estação motriz/roda motriz	36
22	ET-1.1-01	Gripagem dos rolamentos	Estação tensora/rolamentos	36
25	AC-1.3-01	Ventilação deficiente	Motor eléctrico/ventoinha	30
23	ET-1.3-02	Sensor de velocidade actuado indevidamente	Estação tensora/sensor de velocidade	27
24	AC-1.2-02	Falha do circuito magnético	Motor eléctrico/estator & rotor	24
26	AC-2.1-01	Ruptura dos calços de acoplamento	Acoplamento/elemento elástico	24

27	CP-1.2-01	Troços soltos das guias de assentamento	Corpo/guias de assentamento	24
28	AC-1.2-01	Sobre aquecimento do circuito magnético	Motor eléctrico/estator & rotor	20
29	AC-4.1-02	Ruptura do dentado das engrenagens	Redutor/engrenagens	18
30	SE-1.4-01	Desaperto dos terminais/cablagens	Quadro de potência/terminais	18
31	SE-2.1-01	Desaperto dos terminais/cablagens	Quadro de comando/terminais	18
32	SE-2.2-01	Desaperto das botoneiras/cablagens	Quadro de comando/botoneiras	18
33	CP-1.1-03	Degolação dos freios	Corpo/corrente de transporte	16
34	CP-1.5-01	Gripagem dos roletes	Corpo/roletes	15
35	CP-1.3-01	Rasgos nos painéis laterais	Corpo/painéis laterais	14
36	CP-1.4-01	Rasgos nos painéis fundo	Corpo/painéis de fundo	14
37	SE-2.2-02	Desgaste das botoneiras	Quadro de comando/botoneiras	12
38	EM-1.2-02	Desalinhamento da roda motriz	Estação motriz/roda motriz	12
39	CP-1.6-01	Rasgos nas caídas	Corpo/caídas	6
40	EM-1.3-01	Rasgos nos painéis laterais	Estação motriz/painéis laterais	4
41	EM-1.4-01	Rasgos nos painéis fundo	Estação motriz/painéis de fundo	4
42	ET-1.4-01	Rasgos nos painéis laterais	Estação tensora/painéis laterais	4
43	ET-1.5-01	Rasgos nos painéis de fundo	Estação tensora/painéis de fundo	4

5.3.2.1 Aplicação do Diagrama de Pareto aos índices de severidade dos modos de falha

A partir da análise do Diagrama de Pareto, observa-se que a generalidade dos modos de falha potenciais do subsistema em estudo são de pequena severidade, em 93% dos casos (classe de severidade 60-80). Por outro lado, verifica-se que existe um modo de falha que apresenta o índice de severidade máximo (classe 240-260), o qual deverá ser alvo de medidas prioritárias de manutenção preventiva.

Na figura (5.3) apresenta-se o Diagrama de Pareto aplicado por classes de índice de severidade dos respectivos modos de falha do subsistema em estudo.

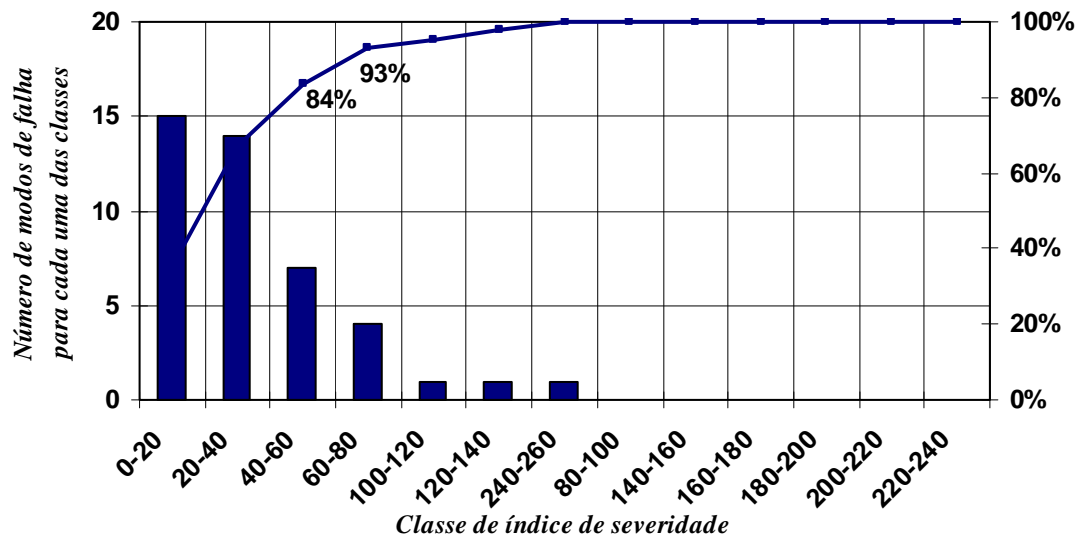


Fig. 5.3 – Diagrama de Pareto aplicado a classes de índice de severidade

5.3.2.2 Determinação dos órgãos/componentes críticos

Através do somatório dos índices de severidade dos modos de falha relativos a cada órgão/componente resultantes da Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA), e usando a expressão (5.1), é possível determinar a criticidade dos respectivos órgãos e componentes.

$$\text{Criticidade do órgão / componente} = \sum_{i=1}^n \text{Índices de severidade} \quad (5.1)$$

O quadro (5.5) apresenta os órgãos e componentes do subsistema em estudo por ordem de criticidade decrescente.

Quadro 5.5 – Classificação da criticidade dos órgãos/componentes

#	Código	Órgão/componente	Criticidade
1	CP-1.1	Corpo/corrente de transporte	346
2	AC-3.1	Embraiagem hidráulica/retentores	126

3	AC-5.1	Conjunto de transmissão/carretos	116
4	ET-1.3	Estação tensora/sensor de velocidade	99
5	SE-1.1	Quadro de potência/fusíveis	82
6	AC-3.4	Embraiagem hidráulica/fusível térmico	64
7	ET-1.2	Estação tensora/tensores	54
8	AC-4.1	Redutor/engrenagens	54
9	EM-1.2	Estação motriz/roda motriz	48
10	AC-5.3	Conjunto de transmissão/fusível mecânico	48
11	AC-5.2	Conjunto de transmissão/corrente de transmissão	48
12	SE-1.3	Quadro de potência/contactores	46
13	EM-1.5	Estação motriz/tampa sobre caudal	45
14	SE-1.2	Quadro de potência/relés térmicos	44
15	AC-1.2	Motor eléctrico/estator & rotor	44
16	AC-1.1	Motor eléctrico/rolamentos	42
17	ET-1.1	Estação tensora/rolamentos	36
18	EM-1.1	Estação motriz/rolamentos	36
19	AC-4.3	Redutor/rolamentos	36
20	AC-4.2	Redutor/retentores	36
21	AC-3.3	Embraiagem hidráulica/rolamentos	36
22	AC-3.2	Embraiagem hidráulica/pratos da embraiagem	36
23	SE-2.2	Quadro de comando/botoneiras	30
24	CP-1.2	Corpo/guias de assentamento	24
25	AC-2.1	Acoplamento/elemento elástico	24
26	AC-1.3	Motor eléctrico/ventoinha	24
27	SE-2.1	Quadro de comando/terminais	18
28	SE-1.4	Quadro de potência/terminais	18
29	CP-1.5	Corpo/roletes	15
30	CP-1.4	Corpo/painéis de fundo	14
31	CP-1.3	Corpo/painéis laterais	14
32	CP-1.6	Corpo/caídas	6

33	ET-1.5	Estação tensora/painéis de fundo	4
34	ET-1.4	Estação tensora/painéis laterais	4
35	EM-1.4	Estação motriz/painéis de fundo	4
36	EM-1.3	Estação motriz/painéis laterais	4

5.3.2.2.1 Aplicação do Diagrama de Pareto aos órgãos/componentes críticos

Tal como se pode observar no Diagrama de Pareto, na figura (5.4), existe um órgão/componente que contribui destacadamente para a criticidade global dos transportadores de corrente, com a percentagem de 20% – é a corrente de transporte (CP-1.1). Para além desta, existem três órgãos/componentes que possuem um nível criticidade considerável; são os retentores da embraiagem hidráulica (quando instalada), os carretos do conjunto de transmissão e o sensor de velocidade da estação tensora do transportador. A criticidade conjunta representa cerca de 20% da criticidade global.

Donde se conclui que a manutenção preventiva deve ser focada nas correntes de transporte. Por outro lado, verifica-se que sendo os painéis laterais e de fundo dos transportadores de corrente os órgãos/componentes com menor criticidade, praticamente nula, não devem ser objecto do foco do plano de manutenção preventiva.

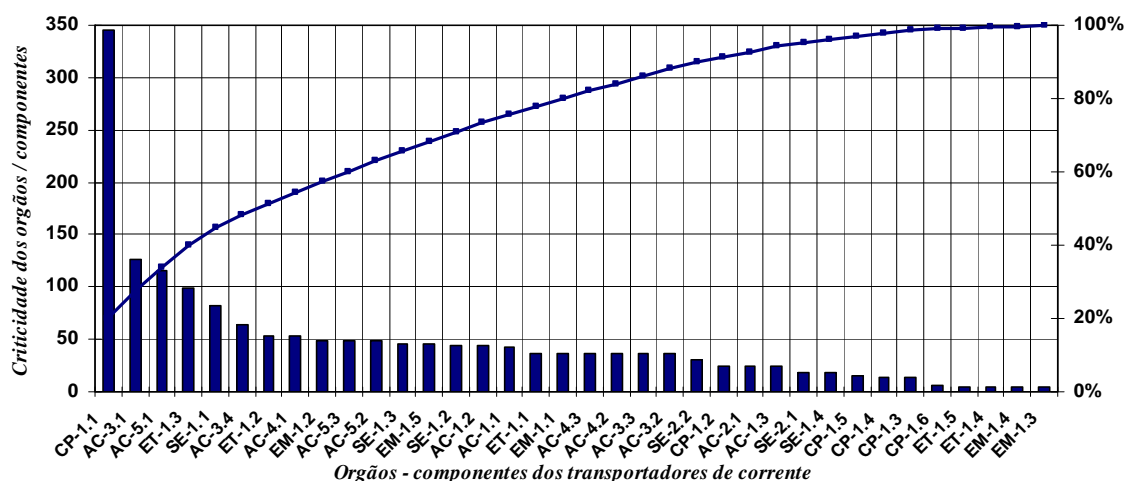


Fig. 5.4 – Diagrama de Pareto aplicado à criticidade dos órgãos-componentes

5.3.3 Determinação e análise do índice de gravidade dos modos de falha

A partir da classificação da gravidade dos efeitos resultantes dos modos de falha, constantes da FMEA, é possível resumir no quadro (5.6) os modos de falha de efeitos catastróficos que deverão ser objecto de prioridade no plano de manutenção preventiva.

Quadro 5.6 – Modos de falha com índice de gravidade catastrófico

#	Código	Modo de Falha	Órgão/componente
1	SE-2.2-02	Desgaste das botoneiras	Quadro de comando/botoneiras
2	ET-1.3-01	Não actuação do sensor de velocidade	Estação tensora/sensor de velocidade
3	ET-1.2-01	Esticamento defeituoso da corrente de transporte	Estação tensora/tensores
4	ET-1.1-01	Gripagem dos rolamentos	Estação tensora/rolamentos
5	EM-1.1-01	Gripagem dos rolamentos	Estação motriz/rolamentos
6	CP-1.2-01	Troços soltos das guias de assentamento	Corpo/guias de assentamento
7	CP-1.1-02	Degolação acelerada das cavilhas	Corpo/corrente de transporte
8	CP-1.1-01	Ruptura das barras por fadiga	Corpo/corrente de transporte
9	AC-4.3-01	Gripagem dos rolamentos	Redutor/rolamentos
10	AC-4.2-01	Nível de óleo baixo	Redutor/retentores
11	AC-4.1-02	Ruptura do dentado das engrenagens	Redutor/engrenagens
12	AC-4.1-01	Desgaste anormal do dentado das engrenagens	Redutor/engrenagens
13	AC-3.3-01	Gripagem dos rolamentos	Embraiagem hidráulica/rolamentos
14	AC-3.1-01	Nível de óleo baixo	Embraiagem hidráulica/retentores
15	AC-1.2-02	Falha do circuito magnético	Motor eléctrico/estator & rotor
16	AC-1.1-01	Gripagem dos rolamentos	Motor eléctrico/rolamentos
17	AC-3.2-01	Sobre aquecimento da embraiagem	Embraiagem hidráulica/pratos da embraiagem

5.3.3.1 Aplicação do Diagrama de Pareto aos índices de gravidade

Como se pode observar na figura (5.5) abaixo, cerca de 40% dos modos de falha do subsistema em estudo têm índices de gravidade catastróficos, com efeitos de interrupção da produção superior a 5 horas ou que põem em causa a segurança operacional da instalação.

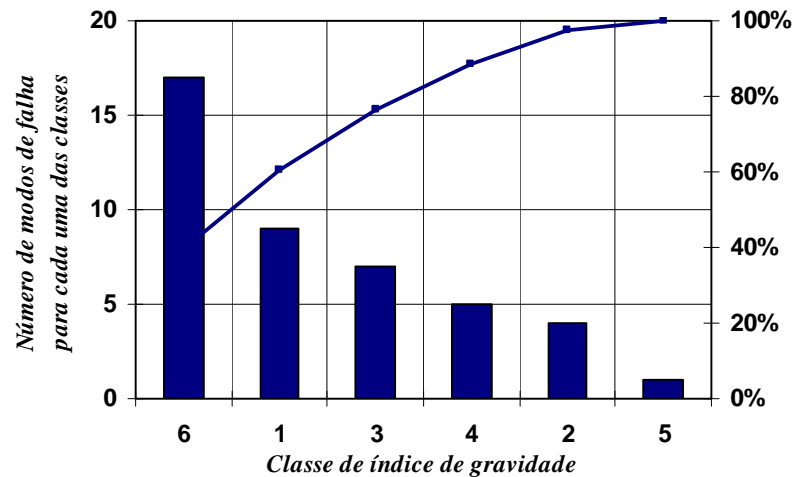


Fig. 5.5 – Diagrama de Pareto aplicado a classes de índice de gravidade

Estes modos de falha mencionados no quadro (5.6) *supra*, aconselham o estudo no sentido de se melhorar a sua prevenção, que certamente implicará um plano específico de acções de manutenção preventiva.

5.4 Planeamento da manutenção preventiva

5.4.1 Com base na fiabilidade do componente crítico

No seguimento da identificação da corrente de transporte como componente crítico dos subsistemas reparáveis em estudo, o passo seguinte consiste em ajustar a sua taxa de falhas à distribuição estatística de *Weibull*. O ajustamento será feito em relação a dois dos seus parâmetros – o parâmetro de forma (β) e o parâmetro de escala (η) –, pelo método da máxima verosimilhança e com recurso à base de falhas correspondente aos períodos em análise, nos anos de 2003 e 2004.

Durante estes períodos registaram-se 58 falhas nas correntes de transporte dos transportadores, mas foram apenas consideradas 16 ocorrências válidas para a modelação da duração do componente crítico. As restantes apresentavam tempos de duração muito curtos, resultado de eventuais intervenções imperfeitas, da influência de outras ocorrências ou do incorrecto registo das falhas.

As intervenções de manutenção correctiva têm, normalmente, como objectivo único repor o funcionamento imediato dos equipamentos, de modo a minimizar o tempo de inactividade da instalação. Por isso, surgem, umas vezes, situações de diagnóstico incorrecto que dão origem a reparações parciais; noutras vezes, as intervenções não passam de desempanagens que visam unicamente resolver a falha até à próxima paragem da produção.

O quadro (5.7) apresenta-nos uma amostra bastante limitada, de 16 ocorrências apenas. Por isso, foi necessário considerar um intervalo de confiança para 95% dos casos, em relação aos estimadores dos parâmetros de forma e de escala das características das correntes de transporte.

Quadro 5.7 – Ocorrência de falhas das correntes de transporte durante os ensaios

Ordem (n_f)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Frequência acumulada (dias)	15	16	16	16	18	18	20	20	23	26	26	31	36	41	75	78

O quadro (5.8) mostra-nos os intervalos de confiança para 95% dos casos, para ambos os parâmetros, limitados pelo limite inferior e pelo limite superior. Adoptando a situação que apresenta maior garantia, utilizando o limite inferior do intervalo confiança, garante-se que em 95% dos casos os parâmetros de forma e de escala são superiores aos valores encontrados; apenas 5% apresentam valores inferiores. Na prática, significa que se garante a fiabilidade estimada ou desejada em 95% dos casos.

Pelo contrário, se a opção fosse utilizar o limite superior do intervalo de confiança, apenas se garantia a fiabilidade estimada em 5% dos casos.

Quadro 5.8 – Parâmetros de Weibull para um intervalo de confiança de 95%

	Limite inferior de confiança (LIC)	Limite superior de confiança (LSC)
Parâmetro de forma (β)	1,22	2,43
Parâmetro de escala (η)	24,89	45,58

5.4.1.1 Limite inferior de confiança

Utilizando os valores do limite inferior de confiança, obteríamos a partir da expressão (2.7) a função acumulada de fiabilidade ou função cumulativa de distribuição das correntes de transporte,

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{24,89}\right)^{1,22}}$$

onde t significa o tempo de duração do componente. Pode também ser representada graficamente, de acordo com a figura (5.6),

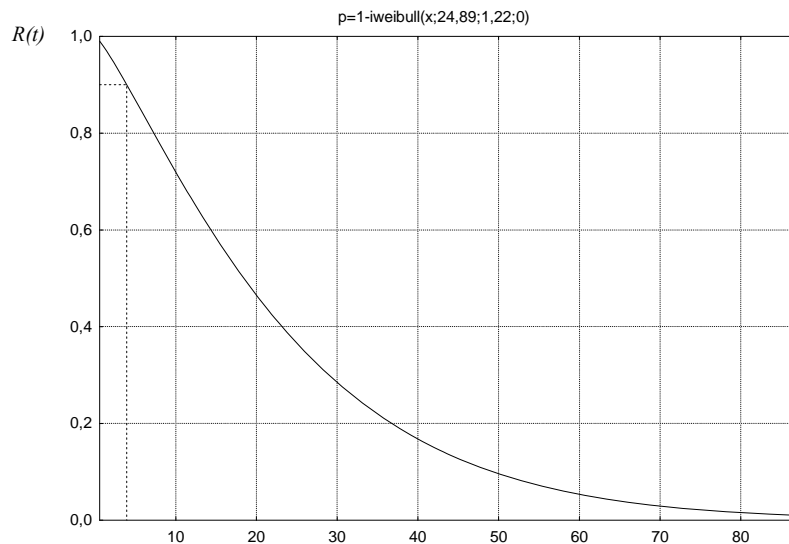


Fig. 5.6 – Função cumulativa de distribuição $R(t)$ [Weib, $\beta=1,22$; $\eta=24,89$] (Fonte: *Statistica 7*)

De onde se pode obter o intervalo entre tarefas de manutenção preventiva das correntes de transporte, resolvendo a equação da função acumulada de fiabilidade em ordem ao tempo, resultando em,

$$t_i = 24,89 \times \left[-\ln(R_i) \right]_{1,22}^{\frac{1}{1,22}}$$

onde t_i significa o momento da inspecção e R_i significa a fiabilidade desejada. Ou seja, neste caso obter-se-ia um intervalo entre tarefas de manutenção preventiva de 4 dias, considerando uma fiabilidade desejada de 90%, em 95% dos casos. Gráficamente, a função densidade de probabilidade de falha pode ser representada de acordo com a figura (5.7),

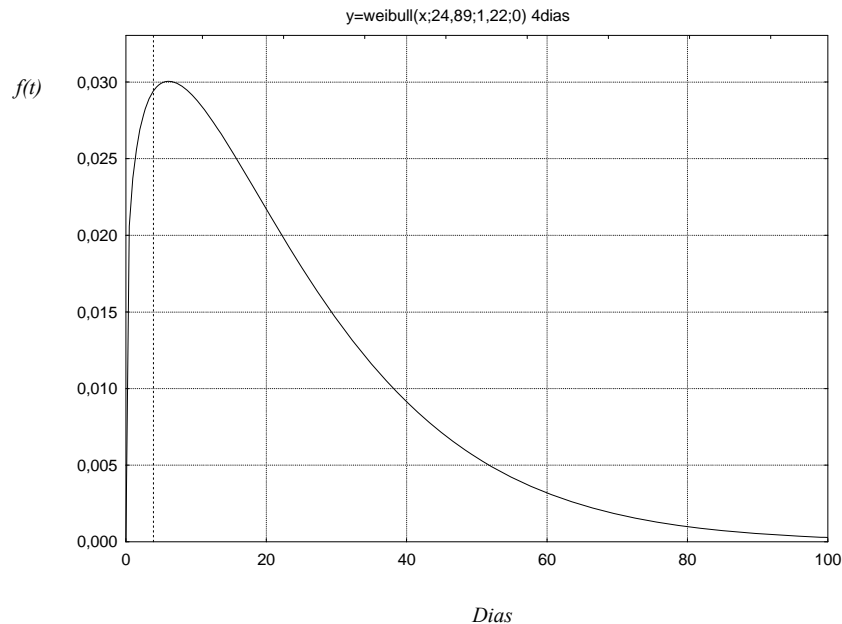


Fig. 5.7 – Função densidade de probabilidade $f(t)$ [Weib, $\beta=1,22$; $\eta=24,89$] (Fonte: *Statistica 7*)

5.4.2 Com base na manutibilidade do componente crítico

À semelhança da distribuição estatística dos tempos de duração do componente crítico do subsistema em estudo, é possível fazer o ajustamento a uma distribuição estatística de *Weibull* pelo método da máxima verosimilhança, com um parâmetro de forma (β) e um parâmetro de escala (η).

Nos anos de 2003 e 2004 registaram-se 58 reparações nas correntes de transporte dos transportadores, cujos tempos de reparação podem ser observados no quadro (5.9),

Quadro 5.9 – Reparações das correntes de transporte durante os anos de 2003 e 2004

<i>Ordem (n_R)</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
<i>Tempo de reparação (minutos)</i>	30	13	15	105	10	170	185	150	120	200	10	105
<i>Ordem (n_R)</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>
<i>Tempo de reparação (minutos)</i>	260	370	110	150	10	75	50	75	30	10	10	50
<i>Ordem (n_R)</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>
<i>Tempo de reparação (minutos)</i>	105	95	405	410	305	30	15	35	10	110	30	10
<i>Ordem (n_R)</i>	<i>37</i>	<i>38</i>	<i>39</i>	<i>40</i>	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>44</i>	<i>45</i>	<i>46</i>	<i>47</i>	<i>48</i>
<i>Tempo de reparação (minutos)</i>	10	10	10	20	10	15	10	10	10	5	395	50
<i>Ordem (n_R)</i>	<i>49</i>	<i>50</i>	<i>51</i>	<i>52</i>	<i>53</i>	<i>54</i>	<i>55</i>	<i>56</i>	<i>57</i>	<i>58</i>	-	-
<i>Tempo de reparação (minutos)</i>	10	170	260	230	20	35	195	230	810	400	-	-

Os parâmetros de forma e de escala da distribuição de *Weibull*, compreendidos entre os limites inferior e superior do intervalo de confiança para 95% dos casos, apresentam-se no quadro (5.10). No caso da manutibilidade do componente crítico, deve utilizar-se o limite superior, uma vez que se garante que em 95% dos casos os parâmetros de forma e de escala são inferiores aos valores encontrados, significando que o tempo efectivo da reparação é inferior ao tempo estimado. Ou seja, garante-se a manutibilidade estimada em 95% dos casos.

Quadro 5.10 – Parâmetros de Weibull para um intervalo de confiança de 95%

	Limite inferior de confiança (LIC)	Limite superior de confiança (LSC)
Parâmetro de forma (β)	0,65	0,95
Parâmetro de escala (η)	71	142

5.4.2.1 Limite superior de confiança

Utilizando os valores do limite superior de confiança, obteríamos a partir da expressão (2.7) a função acumulada de manutibilidade ou função cumulativa de distribuição das correntes de transporte que a seguir se apresenta, onde t significa o tempo de reparação do componente,

$$M(t) = e^{-\left(\frac{t}{142}\right)^{0,95}}$$

Pode também ser representada graficamente, de acordo com a figura (5.8).

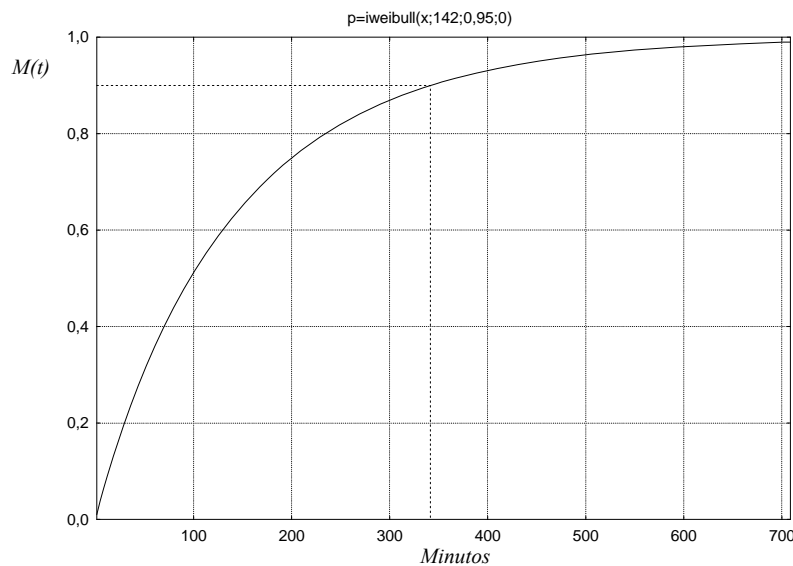


Fig. 5.8 – Função cumulativa de distribuição F (t) [Weib, $\beta=0,95$; $\eta=142$] (Fonte: *Statistica 7*)

Podemos ainda obter o tempo estimado de reparação das correntes de transporte, resolvendo a equação da função acumulada de manutibilidade em ordem ao tempo,

$$t_i = 142 \times \left[-\ln(M_i) \right]^{\frac{1}{0,95}}$$

onde t_i significa o tempo de reparação e M_i significa a manutibilidade desejada. Neste caso, ter-se-ia um tempo técnico de reparação de 342 minutos (5 horas e 42 minutos) para as correntes de transporte, em 95% dos casos, considerando uma manutibilidade estimada de

90%. Finalmente, a função densidade de probabilidade de reparação pode ser representada graficamente, de acordo com a figura (5.9),

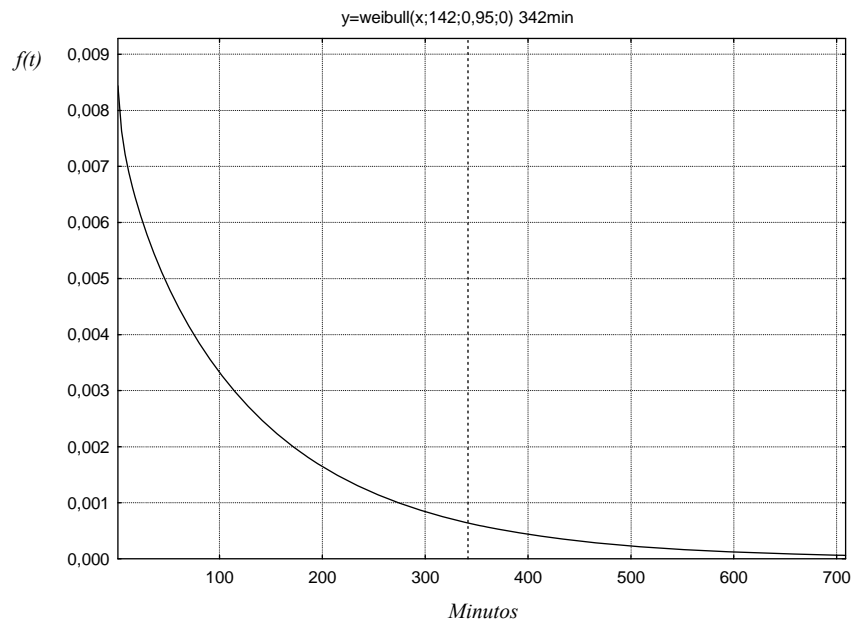
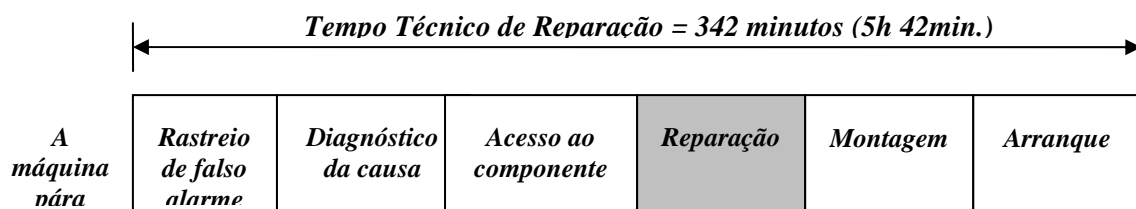


Fig. 5.9 – Função densidade de probabilidade $f(t)$ [Weib, $\beta=0,95$; $\eta=142$] (Fonte: *Statistica 7*)

O passo seguinte seria decompor o tempo técnico de reparação estimado pelos tempos de duração das diversas tarefas subjacentes, de acordo com Ferreira (1998), e apresentados no capítulo II. Não existindo o registo desses tempos parciais, apenas é possível concluir que o tempo técnico de reparação de 342 minutos é o somatório das tarefas apresentadas no quadro (5.11),

Quadro 5.11 – Decomposição do Tempo Técnico de Reparação (TTR)



5.4.3 Gamas da manutenção preventiva

5.4.3.1 Gama da manutenção preventiva dedicada ao componente crítico

Numa primeira fase de implementação experimental das acções de manutenção preventiva, recomenda-se a utilização dos valores do limite inferior do intervalo de confiança para os parâmetros de forma e de escala. Dessa forma, consegue-se garantir a fiabilidade desejada em 95% dos casos.

Como se pode observar na figura (5.6), se pretendermos uma fiabilidade de 90% para as correntes de transporte, como componente crítico, dever-se-á respeitar impreterivelmente o intervalo de 4 dias entre as acções de manutenção preventiva. Essas acções, possíveis de realizar com os equipamentos em funcionamento, encontram-se apresentadas no quadro (5.12).

Quadro 5.12 – Acções de manutenção preventiva dedicadas ao componente crítico sem imobilização do equipamento

	Acções de manutenção preventiva	Periodicidade
1	Inspecção do estado/funcionamento dos tensores	De 4 em 4 dias
2	Inspecção do esticamento da corrente de transporte	De 4 em 4 dias
3	Inspecção do ruído de funcionamento/engrenamento da corrente de transporte	De 4 em 4 dias

Como se trata de um regime de produção contínuo, não é possível executar a totalidade das acções de manutenção preventiva com a periodicidade desejável. Assim, e tendo em conta o referido condicionalismo da instalação, estabelece-se no quadro (5.13) a seguinte gama de acções,

Quadro 5.13 – Acções de manutenção preventiva dedicadas ao componente crítico com imobilização do equipamento

Acções de manutenção preventiva		Periodicidade
1	Inspecção do desgaste dos elementos da corrente de transporte	Em situação de necessidade de imobilização do equipamento, devido a falhas alheias
2	Inspecção do estado e da fixação das guias de transporte	Em situação de necessidade de imobilização do equipamento, devido a falhas alheias

5.4.3.2 Gama da manutenção preventiva dedicada às falhas catastróficas

Da análise do quadro (5.6) é possível definir os componentes que estão sujeitos a falhas catastróficas, ou seja, falhas superiores a 5 horas ou que põem em risco a segurança operacional da instalação, de acordo com o critério de gravidade das falhas estabelecido previamente.

Com base nessa análise, foram consideradas as seguintes acções de manutenção preventiva para evitar a ocorrência das referidas falhas. Apresentam-se no quadro (5.14) as acções de manutenção preventiva sem necessidade de imobilização dos equipamentos. De acrescentar que os modos de falha do componente crítico correntes de transporte são considerados também de catastróficos; no entanto, como tinha sido apresentado, a sua manutenção preventiva não exige que surja de novo no quadro.

Quadro 5.14 – Acções de manutenção preventiva dedicadas às falhas catastróficas sem imobilização do equipamento

Acções de manutenção preventiva		Periodicidade
1	Inspecção do desgaste das botoneiras eléctricas	De 4 em 4 dias
2	Inspecção do funcionamento dos sensores de velocidade	De 4 em 4 dias
3	Cumprimento do plano de lubrificação (rolamentos das estações motriz e tensora e redutor)	Plano lubrificação
4	Inspecção do ruído e da temperatura dos rolamentos das estações motriz e tensora	De 4 em 4 dias

5	Inspecção do ruído e da temperatura dos rolamentos do motor eléctrico	De 4 em 4 dias
6	Inspecção da temperatura do motor eléctrico	De 4 em 4 dias
7	Inspecção do ruído e da temperatura dos rolamentos/engrenagens do redutor	De 4 em 4 dias
8	Inspecção do ruído e da temperatura da embraiagem hidráulica	De 4 em 4 dias

No quadro (5.15) apresentam-se as acções de manutenção preventiva que obrigam a imobilização dos equipamentos.

Quadro 5.15 – Acções de manutenção preventiva dedicadas às falhas catastróficas com imobilização do equipamento

Acções de manutenção preventiva		Periodicidade
1	Cumprimento do plano de lubrificação da embraiagem hidráulica	Em situação de necessidade de imobilização do equipamento, devido a falhas alheias
2	Inspecção do estado do fusível térmico e dos retentores da embraiagem hidráulica	Em situação de necessidade de imobilização do equipamento, devido a falhas alheias

5.4.3.3 Gama da manutenção preventiva geral

Para além da atenção que deve ser dada ao componente crítico e às falhas catastróficas identificadas, é necessário assegurar as acções de manutenção preventiva constantes do quadro (5.16), para completar e encerrar o programa de manutenção preventiva da instalação em estudo.

De acrescentar que nos períodos de manutenção programada deverá ser cumprido um plano de revisão geral, onde se incluam as três gamas de manutenção preventiva apresentadas.

Quadro 5.16 – Acções de manutenção preventiva geral

Acções de manutenção preventiva		Periodicidade
1	Inspecção do estado do fusível mecânico	Mensal
2	Inspecção do esticamento da corrente de transmissão	Mensal
3	Inspecção do desgaste dos painéis laterais e do fundo	Mensal
4	Inspecção do funcionamento dos sensores de fim de curso (tampa de sobre caudal)	Mensal
5	Inspecção do estado dos carretos do conjunto da transmissão	Semestral
6	Inspecção do funcionamento do fusível térmico da embraiagem	Semestral
7	Inspecção do estado do acoplamento do motor/embraiagem/redutor/transportador	Semestral
8	Análise das vibrações dos rolamentos das estações motriz e tensora	Semestral
9	Análise das vibrações dos rolamentos do motor eléctrico	Semestral
10	Análise das vibrações dos rolamentos e das engrenagens do redutor	Semestral
11	Termografia do quadro de potência (reapertos, etc.)	Semestral
12	Termografia do quadro de comando (reapertos, etc.)	Semestral
13	Inspecção do desgaste/alinhamento das rodas de accionamento e tensora	Anual
14	Inspecção do estado dos roletes	Anual
15	Inspecção do estado das ventoinhas dos motores eléctricos	Anual

5.4.4 Optimização do custo da manutenção preventiva

No seguimento da definição das gamas de tarefas de manutenção preventiva, é necessário estudar as suas implicações económicas na realidade do sistema reparável em estudo.

De referir que as acções de manutenção preventiva que obriguem à imobilização do subsistema serão executadas em períodos de imobilização dos equipamentos provocada por outras causas. Sendo assim, não se quantificam os custos de inactividade da instalação. No quadro (5.17) apresentam-se os tempos técnicos de manutenção preventiva para cada subsistema, especificamente para os dois tipos em causa: transportadores de corrente lineares e combinados.

De onde resulta que o tempo médio necessário para a realização da manutenção preventiva em cada subsistema reparável é de aproximadamente 8,60 Horas.

Quadro 5.17 – Tempos Técnicos de Manutenção Preventiva (MTTR) dos subsistemas reparáveis

Gama de acções de manutenção preventiva	Transportadores lineares	Transportadores combinados
Dedicada ao componente crítico, sem necessidade de imobilização	1,25 horas	2,17 horas
Dedicada às falhas catastróficas, sem necessidade de imobilização	3,25 horas	3,50 horas
Dedicada ao componente crítico, com necessidade de imobilização	2,33 horas	3,33 horas
Dedicada às falhas catastróficas, com necessidade de imobilização	0 horas	1,33 horas
Tempo Técnico de Manutenção Preventiva/subsistema reparável	6,83 horas	10,33 horas

Estimando um custo por equipa de manutenção de cerca de 22€/h, significa que o custo da manutenção preventiva por cada subsistema reparável é de 189 €. Neste valor não se encontra incluído o custo dos materiais, por se considerar pouco significativo.

Por outro lado, devemos ainda considerar os custos com a manutenção correctiva. Estes estão associados à sua imobilização e, de acordo com a distribuição de *Weibull*, resultam em perdas de produção de cerca 342 minutos (5,7 horas).

Significa, portanto, que considerando um custo de inactividade de 735€/h, existe um custo por falha de 4190€/falha.

Acresce ainda o custo da mão-de-obra e dos materiais que totaliza, em média, 426€ por falha. De onde resulta um custo de manutenção correctiva de 4616€ por falha e por subsistema reparável.

Através da expressão ($2.ss=2.30$) e da distribuição do tempo de falha do subsistema reparável em estudo, é possível determinar o intervalo entre tarefas de manutenção preventiva com o custo associado optimizado. Neste caso, podemos concluir que o intervalo óptimo é de 7 em 7 dias. Como também é possível observar na figura (5.10) a seguir,

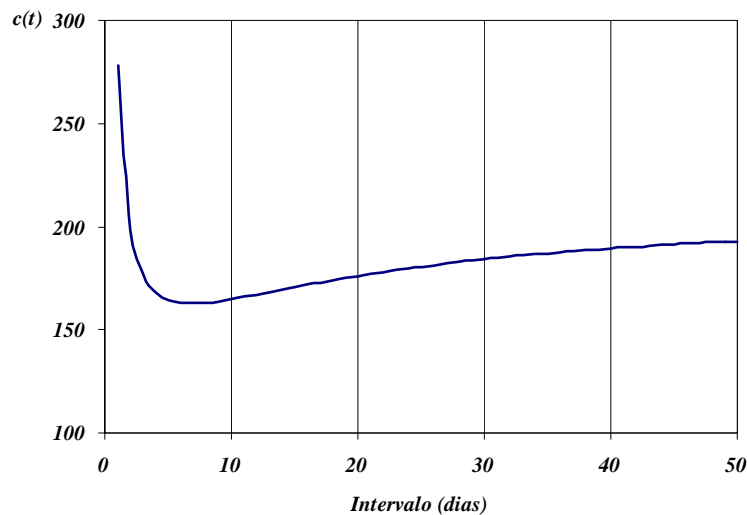


Fig. 5.10 – Curva do custo de manutenção preventiva em função do tempo (Fonte: Mathcad)

Para o intervalo entre tarefas referente ao custo óptimo da actividade de manutenção preventiva de cerca de 7 dias, é possível determinar, através da expressão ($2.w=2.8$), que o subsistema reparável teria uma fiabilidade de 80%.

5.5 Discussão dos resultados

Através da aplicação da metodologia da gestão da qualidade conhecida por Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA), consegue-se determinar os principais modos de falha potenciais do subsistema em estudo, bem como hierarquizá-los por índices de severidade. Através da sua relação com os componentes do subsistema, consegue-se determinar a sua criticidade.

Posteriormente, através da modelação das falhas dos componentes críticos, é possível determinar os intervalos para a implementação das acções de manutenção preventivas definidas.

Por outro lado, conhece-se a duração das reparações através da distribuição de *Weibull*, e o que significam em termos de custos por perda da produção. Com a análise de

custos da manutenção preventiva versus correctiva, conseguiu-se determinar qual o melhor intervalo entre tarefas de manutenção preventiva.

Com a associação destas duas vertentes de análise é possível seleccionar de uma forma estruturada e objectiva os componentes críticos que requerem especial atenção. A partir daí, definir-se as tarefas de manutenção que devem ser calendarizadas, de forma a evitar falhas destes equipamentos e, por conseguinte, aumentar a sua disponibilidade.

Permite ainda direccionar os esforços da manutenção para onde são mais necessários, rentabilizando, desta forma, os recursos na manutenção dos equipamentos.

CAPÍTULO VI

ANÁLISE PREVENTIVA DE ACIDENTES DE MANUTENÇÃO NA EXTRACÇÃO I

1. Introdução

2. Método WAIT

3. WAIT aplicado às tarefas de manutenção realizadas na Extracção I

4. Discussão dos resultados

6.1 Introdução

Jacinto (2005a) refere que em Portugal, como nos restantes países da União Europeia (EU), a legislação obriga explicitamente todos os empregadores a proceder, *a priori*, a uma análise e avaliação de riscos em todos os locais de trabalho, qualquer que seja a sua actividade. A implementação de medidas de controlo dos riscos e o registo de todos os acidentes de trabalho são também deveres obrigatórios.

Salienta também que a investigação sistemática dos acidentes é a via de aprendizagem mais rápida para se fazerem análises de risco com mais qualidade e realismo. A utilização criteriosa de uma metodologia formal é muito útil para clarificar o acidente, e contraria o que, à primeira vista, se pensa que terá acontecido. Para além disso, é facilmente entendido que todos os acidentes têm múltiplas causas e que, para as prevenir, não basta encontrar as razões imediatas e óbvias; pelo contrário, é necessário investigar as mais remotas ou sistemáticas, que se encontram nos próprios sistemas de trabalho e organizacional.

Os resultados de uma investigação «profissional» oferecem uma base sólida para fundamentar as decisões de gestão, quer em medidas operacionais mais imediatas, quer quanto ao investimento estratégico na segurança ocupacional.

Neste capítulo, pretende-se apresentar a aplicação do método *Work Accidents Investigation Technique* (WAIT) às tarefas de manutenção desenvolvidas na Extracção I. Trata-se de um método que foi desenvolvido no Reino Unido, entre 2000 e 2003, para um projecto de investigação conducente ao grau de doutoramento (Jacinto, 2003), e que foi traduzido para português pela própria autora (Jacinto, 2005).

O método baseia-se explicitamente no modelo teórico de causalidade de acidentes proposto por Reason (1997), denominado por «modelo de acidentes organizacionais», descrito anteriormente no capítulo II. No respeitante à análise do erro humano, inclui algumas teorias e esquemas de classificação de outros autores da actualidade (Hollnagel, 1998).

Para fundamentar e desenvolver as medidas práticas de melhoria no âmbito da segurança das tarefas de manutenção, recorre-se às classificações de Dhillon (2002) descritas no capítulo II.

De acrescentar que não se trata de investigar qualquer acidente ocorrido na instalação, mas sim de, servindo-nos do método WAIT, auscultar os operacionais que desenvolvem tarefas de manutenção na instalação em estudo para, com essa experiência, com essa mais-valia, dispor de linhas orientadoras que permitam apontar algumas medidas de melhoria no âmbito da segurança ocupacional da instalação.

Por último, de referir que a análise da vertente cognitiva e individual é muito elementar, dado que o seu aprofundamento exigiria o recurso a ferramentas e a metodologias do domínio da psicologia cognitiva por parte do analista. Este tipo de abordagem não faz parte dos objectivos do trabalho, pelo que a inclusão de algumas questões desta natureza comportam apenas um carácter exploratório, com o objectivo de identificar alguns factores adversos que possam ter impacto negativo na segurança.

6.2 Método WAIT

O modelo de «acidentes organizacionais» desenvolvido por Reason (1997), e apresentado no capítulo II, permite compreender as causas de um acidente e prever o papel dos seus diversos factores no processo. No entanto, esse conhecimento deve ser facilmente aplicável à prática, de modo a evitar que se limite a abordagens teóricas. Esta foi a razão da escolha da metodologia *WAIT* desenvolvida por Jacinto (2003; 2005).

Nesta metodologia, o processo de investigação de acidentes deve ser dividido em duas fases principais: a primeira, simplificada, que descreve o acidente e apenas identifica as suas causas mais próximas. Termina com a verificação e a revisão da análise de riscos aplicável às circunstâncias. Em muitos casos, devido à própria natureza dos acidentes, este processo básico é suficiente e adequado, não só para melhorar as condições de segurança, mas também para que se cumpram todos os requisitos legais; a segunda fase, que consiste numa análise aprofundada, mas que só deverá ser realizada quando tal se justifique, por exemplo, em caso de acidentes graves ou com potencial para terem tido consequências muito mais graves. Nesta fase são analisados factores individuais (incluindo aspectos cognitivos básicos), factores ligados ao trabalho e, finalmente, factores organizacionais e de gestão.

Jacinto serve-se de esquemas de classificação que podem ser utilizados como *checklists* durante o processo de análise e de investigação dos acidentes, e que fornecem uma estrutura para codificar e para registar toda a informação de interesse para a organização.

Através do quadro (6.1) é possível estabelecer os factores que contribuem para cada falha activa no local e no ambiente de trabalho.

Os quadros seguintes permitem analisar os chamados factores humanos que podem facilitar as falhas activas, assim como outros factores com eles relacionados.

Quadro 6.1 – (LAT) Factores influenciadores no local e no ambiente de trabalho (Fonte: Jacinto, 2005)

<i>Grupo A – Local e ambiente circundante</i>	<i>Grupo B – Tarefa e trabalho</i>	<i>Grupo C – Informação, comunicação e equipamentos</i>
<p>00- Sem informação/não aplicável</p> <p>01- Nível de ruído ou vibração elevados</p> <p>02- Iluminação insuficiente/inadequada</p> <p>03- Desconforto térmico (temperaturas extremas: muito seco ou húmido)</p> <p>04- Atmosfera desconfortável (presença de fumos, poeiras, contaminantes)</p> <p>05- Local perigoso (espaço confinado, alta voltagem, radiações ionizantes, armazenamento de energia, etc.)</p> <p>06- Arrumação e limpeza deficientes</p> <p>07- Falta de espaço; local de difícil acesso; layout inadequado</p> <p>99- Outros – não especificado acima</p>	<p>00- Sem informação/não aplicável</p> <p>01- Funções indefinidas (responsabilidades ou tarefas pouco claras)</p> <p>02- Interferência/influência do <u>trabalho</u> de outros</p> <p>03- Interferência/influência da <u>presença</u> de outros</p> <p>04- Tarefa muito exigente/tarefas múltiplas, ou tempo insuficiente (elevada carga de trabalho)</p> <p>05- Trabalho monótono ou repetitivo</p> <p>06- Horário de trabalho irregular, ou não habitual (e.g.: estar «on call», tempo de trabalho variável)</p> <p>07- Turnos/trabalho nocturno (embora regular)</p> <p>08- Inexperiência/não familiarizado com tarefa ou tecnologia/formação inadequada</p> <p>09- Configuração do objecto (e.g.: grandes dimensões, excessivamente pequeno, pesado, bordos cortantes, forma esquisita ou desajeitada, etc.)</p> <p>99- Outros – não especificados acima</p>	<p>00- Sem informação/não aplicável</p> <p>01- Procedimentos inadequados ou pobres (e.g.: insuficientes; difíceis de ler; pouco práticos de usar; texto incompleto; combinam mal com o equipamento; etc.)</p> <p>02- Problemas com a instrumentação – não fiável, difícil de ler, ou insuficiente</p> <p>03- Comunicações ambíguas – inclui comunicação gestual</p> <p>04- Complacência; comportamentos de risco tolerados com frequência</p> <p>05- Equipamentos ou ferramentas insuficientes ou inadequados</p> <p>06- Problemas de manutenção ou de instalação de equipamentos</p> <p>99- Outros – não especificados acima</p>

Quadro 6.2 – (IND) Factores cognitivos e de execução (Fonte: Jacinto, 2005)

<i>Funções cognitivas e de execução</i>	<i>Significado/explicação</i>
01- Falha de interpretação	Diagnóstico incorrecto da situação, previsão incorrecta ou má decisão/incapacidade de tomar decisões em situações difíceis.
02- Falha de observação	Falta de observação (e.g.: falhar um sinal ou errar uma medição), observação falsa (e.g.: confundir com outra coisa) ou identificação errada (e.g.: sinal interpretado com significado diferente).
03- Falha de planeamento	Plano inadequado (e. g.: plano executado sem se ter considerado todos os detalhes necessários), plano errado (não atingiu os objectivos) ou erro de prioridade (e.g.: objectivo mal seleccionado, plano ineficaz).
04- Erro de Execução (<i>apenas</i>)	Não envolve pensamento consciente nem decisão. É um gesto «automático» – acto inconsciente.

Quadro 6.3 – (IND) Factores individuais temporários (Fonte: Jacinto, 2005)

<i>Funções gerais - temporárias</i>	<i>Significado/explicação</i>
01- Falha de memória	Parte da informação esquecida ou recordada de modo errado (e.g.: nome errado de qualquer coisa).
02- Medo/ameaça	Neste caso, as manifestações externas não seguem nenhum padrão especial; parecem mais actos de «tentativa e erro». Por vezes, a pessoa parece ficar paralisada (e. g.: medo de falhar ou de perder o emprego, ameaça ou agressão de outro colega).
03- Distracção	Mudança de atenção – a atenção da pessoa foi desviada para outra coisa. A tarefa pode ficar incompleta ou ocorrer perda da orientação.
04- Desatenção	Falta de atenção: não reparar num sinal ou acontecimento por falha de atenção. É semelhante à «Falha de observação», mas neste caso é aleatório, enquanto que a observação pode ser explicada como uma função cognitiva.
05- Fadiga	A capacidade de resposta da pessoa (mental ou física) é reduzida devido a fadiga ou cansaço.
06- Variabilidade humana intrínseca	Intrínsecas aos humanos. As manifestações típicas são: falta de precisão ou precisão reduzida, movimentos descoordenados ou aumento do número de acções que falham o seu propósito. Quase sempre está relacionada com simples erros de «execução».
07- Stresse físico/fisiológico	As manifestações podem ser muito variadas (e. g.: dor ou desconforto, fome ou sede, intoxicação por álcool ou outra substância, etc.)
08- Stresse mental/psicológico	As manifestações podem ser muito variadas (e. g.: pressa, pressão, tarefa repetitiva ou monótona, problemas familiares ou pessoais, estado emocional adverso)

Quadro 6.4 – (IND) Factores individuais permanentes (Fonte: Jacinto, 2005)

<i>Funções gerais – permanentes</i>	<i>Significado/explicação</i>
01- Condição física ou fisiológica permanente	e. g.: surdez, dificuldades visuais, daltonismo, dislexia, claustrofobia, doença crónica ou qualquer deficiência física.
02- Personalidade	Aspectos relacionados com o carácter ou personalidade da pessoa (e. g.: nervosismo, irritabilidade, teimosia, agressividade, passividade, excesso de confiança ou de optimismo, timidez, etc.

Finalmente, o quadro (6.5) permite identificar «pontos fracos» subjacentes a qualquer organização ou gestão e fazer a respectiva análise.

Quadro 6.5 – (TRB) Factores relacionados com o trabalho, a tarefa ou a tecnologia (Fonte: Jacinto, 2005)

<i>Procedimentos, organização e concepção do trabalho</i>	<i>Tecnologia e equipamento</i>	<i>Formação, comunicação e motivação</i>
01- Tarefa ou local de trabalho não habitual	01- Interface homem/máquina pobre (e. g.: inadequação ergonómica ou antropométrica; difícil acesso a controlos ou indicadores; identificação ambígua)	01- Conflitos ou má comunicação entre funcionários
02- Concepção ou planeamento do trabalho pobres (repetitivo, monótono, tarefa muito exigente, pouco prático de executar)	02- Equipamentos ou ferramentas obsoletos ou mal mantidos (de geração antiga e a funcionar mal)	02- Falta de estratégia de comunicação quando o trabalho é transmitido a outros (e. g.: na mudança do turno entre o pessoal da produção e da manutenção)
03- Concepção ou controlo do ambiente de trabalho pobres (ruído, iluminação, poeira, vibrações, falta de espaço, desarrumação,...)	03- EPI inadequado para a tecnologia em causa, ou não disponível	03- Formação e informação – baixo nível de conhecimentos, aptidão e/ou experiência
04- Interrupções ou perturbações frequentes	04- EPI desconfortável	04- Perigos não conhecidos ou baixa percepção dos perigos (subestimados)
05- Instruções e/ou procedimentos de trabalho inadequados ou inexistentes (mal concebidos, mal apresentados, pouco práticos de seguir)	05- Barreiras ou controlos técnicos (de engenharia) inadequados para a tecnologia em causa	05- Recursos humanos insuficientes (falta de pessoal, ou pessoal pouco qualificado para a tarefa)
06- Baixo nível de supervisão (abaixo do necessário)	06- Recursos físicos insuficientes (equipamentos ou ferramentas não disponíveis, ou não adequados para o fim em vista)	06- Pressão das chefias/conflito com interesses de produção
07- Plano de emergência insuficiente, ou mal organizado		07- Salário baixo, emprego precário, falta de reconhecimento, moral em baixo

6.3 WAIT aplicado às tarefas de manutenção realizadas na Extracção I

6.3.1 Procedimento de recolha de dados

A metodologia apresentada é utilizada no método WAIT para identificar e classificar factores em diversos domínios, que possam ter influência nas falhas activas (ou causas imediatas) presentes num acidente; ou seja, para identificar potenciais factores individuais, de trabalho e organizacionais que tenham contribuído para a ocorrência de um dado acidente específico.

No caso do presente trabalho, essas classificações serviram de base para o desenvolvimento de um questionário sobre a segurança nas tarefas de manutenção da instalação em estudo, que se encontra no Anexo III. Com este questionário pretende-se: recolher a opinião (informação subjectiva) dos intervenientes na manutenção; identificar os factores potencialmente relevantes que condicionam o desempenho da manutenção; identificar as condições de segurança em que se realizam as tarefas, tanto nos locais de trabalho como em geral.

O preenchimento do referido questionário decorreu numa sala, sem limite de tempo, de forma anónima e na presença da Técnica Superior de Higiene e Segurança (TSHS) da empresa. Foram inquiridos todos os intervenientes na manutenção da Extracção I, das áreas da manutenção mecânica e eléctrica, englobando as diversas categorias profissionais: soldadores, mecânicos, electricistas, encarregados e chefias directas de manutenção.

Realizou-se previamente uma sessão de esclarecimento sobre o objectivo pretendido com a análise dos resultados do questionário. Para além disso, todo o preenchimento dos questionários foi acompanhado pela TSHS, no sentido de esclarecer quaisquer dúvidas sobre as questões apresentadas.

6.3.2 Resultados do questionário

Os dados recolhidos nos questionários anónimos foram tratados, apresentando-se a seguir os resultados. A legenda da nomenclatura das questões e das classificações a seguir apresentadas graficamente, pode ser encontrada no Anexo V.

6.3.2.1 Local e ambiente de trabalho

6.3.2.1.1 Local e ambiente circundante

a) Preparação

O tratamento dos resultados da avaliação das condições de trabalho no sector da Preparação consta da figura (6.1). A partir deles pode apresentar-se a seguinte síntese:

cerca de 60% dos inquiridos considera que este sector apresenta um nível elevado de ruído ou de vibração; desses 60% cerca de 20% considera-os mesmo muito elevados;

- ✓ cerca de 55% dos inquiridos considera o nível de limpeza baixo; desses 60% cerca de 20% considera-o, no entanto, satisfatório;
- ✓ cerca de 45% dos inquiridos considera as condições de acessibilidade fracas ou nulas, representado esta última resposta cerca de 10%; dos restantes 55% de inquiridos, 45% consideram o nível de acessibilidades razoável e 10% consideram-no mesmo elevado;
- ✓ cerca de 35% dos inquiridos respondeu que existe desconforto térmico elevado (temperaturas extremas; ambiente muito seco ou muito húmido); no entanto, cerca de 50% das respostas apontaram para a existência de condições térmicas aceitáveis;
- ✓ cerca de 35% dos inquiridos referiu que a presença de poeiras na atmosfera é elevada, enquanto que cerca de 55% respondeu que a considerava aceitável;
- ✓ a iluminação deste sector é considerada razoável pela maioria dos inquiridos (cerca de 90%).

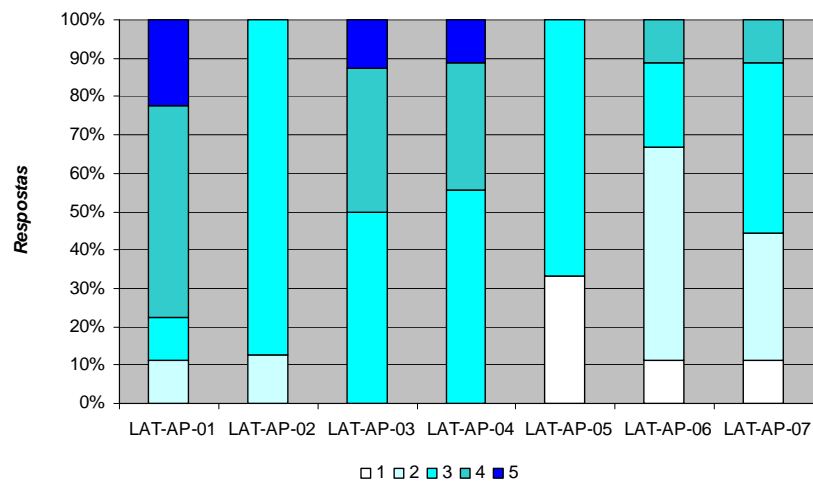


Fig. 6.1 – Resultados da avaliação do ambiente de trabalho no sector da preparação

b) Extracção por solvente

O tratamento dos resultados do inquérito sobre as condições de trabalho no sector da Extracção por solvente é apresentado na figura (6.2).

Pode constatar-se que o sector cumpre razoavelmente a totalidade das condições de trabalho, com excepção dos seguintes itens:

- ✓ desconforto térmico: para 45% dos inquiridos o nível de desconforto térmico é elevado; no entanto, este aspecto foi considerado aceitável em 55% das respostas;
- ✓ acessibilidades: para 25% dos inquiridos o nível de acessibilidades é baixo, sendo mesmo considerado nulo para 10%; no entanto, a grande maioria dos inquiridos (cerca de 55%) considera-as aceitáveis.

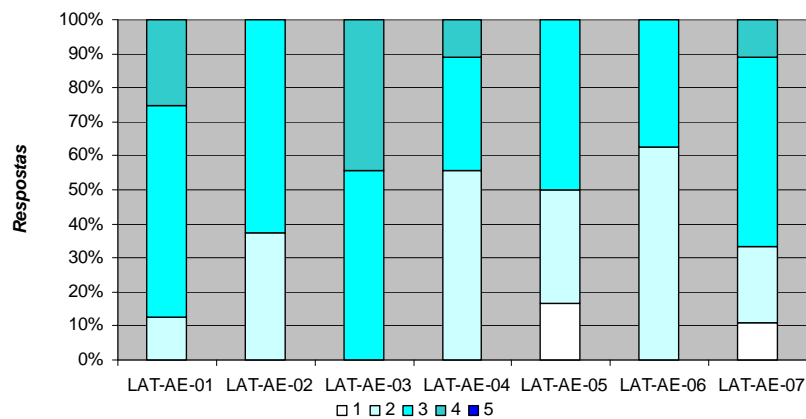


Fig. 6.2 – Resultados da avaliação do ambiente de trabalho no sector da extração por solvente

c) Granulação

Em relação às condições de trabalho no sector da Granulação, obtiveram-se os resultados apresentados graficamente na figura (6.3). Pode verificar-se que os aspectos negativos sobrepõem os positivos, pelo que deve ser dada prioridade à sua análise e estudo:

- ✓ ruído e vibração: a grande maioria dos inquiridos (cerca de 85%) considerou o nível de ruído ou de vibração muito elevado;
- ✓ desconforto térmico: cerca de 75% dos inquiridos considerou o desconforto térmico elevado ou muito elevado, com temperaturas extremas no Verão e no Inverno;
- ✓ limpeza: mais de dois terços dos inquiridos (cerca de 75%) considerou que a limpeza das instalações é deficiente;
- ✓ acessibilidade dos equipamentos: quase metade dos inquiridos considerou as acessibilidades dos equipamentos deficientes (cerca de 40%); 10% considerou-as mesmo nulas;
- ✓ outras condições de trabalho. As restantes condições de trabalho foram consideradas razoáveis.

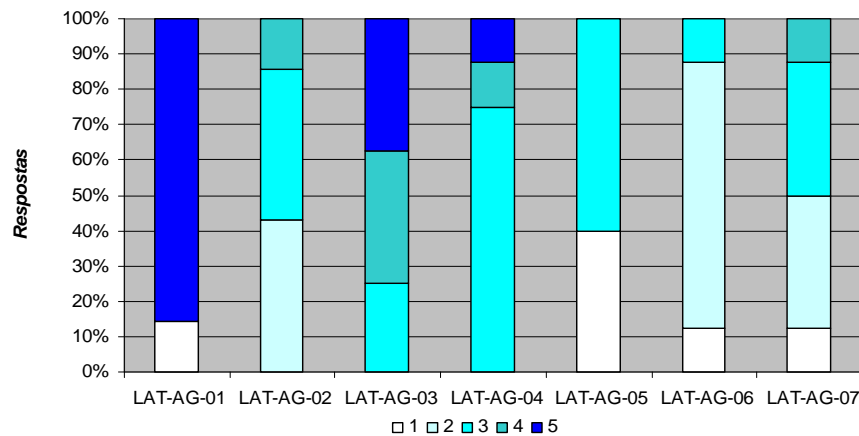


Fig. 6.3 – Resultados da avaliação do ambiente de trabalho no sector da granulação

6.3.2.1.2 Tarefas e trabalho

As respostas dos inquiridos relativamente às tarefas e ao trabalho que eles desenvolvem apresentam-se graficamente na figura (6.4). A partir dessas respostas apresenta-se a seguinte síntese, ordenada por ordem decrescente dos resultados críticos:

- ✓ deficientes condições de realização das tarefas: cerca de 45% dos inquiridos referiu que realiza frequentemente várias tarefas em simultâneo ou com pouco tempo para tal, enquanto que 10% as realiza sempre em simultâneo ou com pouco tempo;
- ✓ entreadjuada na realização das tarefas: cerca de 25% dos inquiridos referiu que prefere frequentemente realizar as tarefas individualmente e não em equipa, enquanto que cerca de 10% as prefere realizar sempre individualmente;
- ✓ perigosidade das tarefas: quase 35% dos inquiridos respondeu que realiza frequentemente tarefas de manutenção em equipamentos que considera perigosos;
- ✓ repetição das tarefas e irregularidade dos horários: cerca de 22% dos inquiridos considera que realiza frequentemente tarefas de manutenção repetitivas e em horário irregular ou durante a noite;

- ✓ tarefas atribuídas incorrectamente: cerca de 70% dos inquiridos respondeu que as tarefas que realiza são por vezes incorrectamente atribuídas;
- ✓ apoio entre colegas de trabalho: 55% dos inquiridos referiu que raramente sente falta de apoio dos colegas nas suas tarefas;
- ✓ conhecimento e familiaridade com os equipamentos: 65% dos inquiridos referiram que raramente realizam tarefas em equipamentos com os quais não estejam familiarizados.

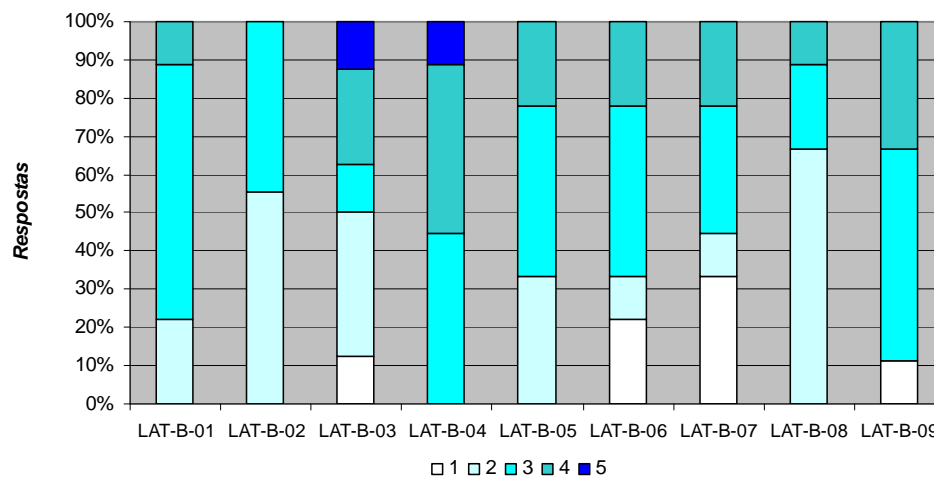


Fig. 6.4 – Resultados da avaliação das tarefas e dos trabalhos de manutenção

6.3.2.1.3 Informação, comunicação e equipamentos

As respostas dadas pelos inquiridos relativamente à informação, à comunicação e aos equipamentos surgem na figura (6.5). Sintetizam-se os aspectos mais relevantes:

- ✓ na opinião de 12% dos inquiridos, raramente existem procedimentos correctos de manutenção para os equipamentos instalados;
- ✓ para 10% dos inquiridos a comunicação em equipa raramente é simples e objectiva.
- ✓ metade dos inquiridos confia na fiabilidade da instrumentação instalada;

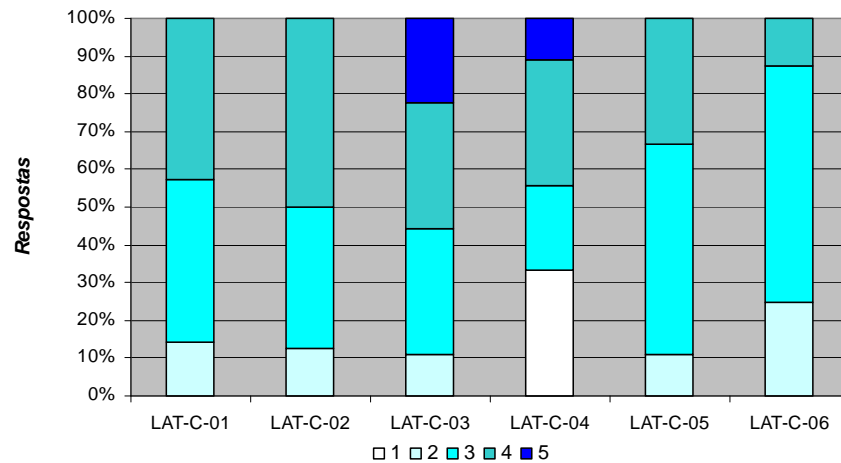


Fig. 6.5 – Resultados da avaliação da informação, da comunicação e dos equipamentos

6.3.2.2 Factores relacionados com as pessoas

6.3.2.2.1 Funções cognitivas e de execução

As funções cognitivas estão relacionadas com o processo mental do pensamento e da tomada de decisão de cada pessoa. As respostas às questões relativas às funções cognitivas e da forma de execução de cada inquirido estão representadas graficamente na figura (6.6).

No entanto, por exigir do analista bons conhecimentos de psicologia cognitiva, optou-se por não fazer uma discussão conclusiva deste parâmetro. Ainda assim, é de destacar o elevado número de acções erradas que são executadas de «forma automática», em contraste com aquelas que realmente envolvem um processo consciente de pensamento e de decisão. A prevenção destas últimas pode, por vezes, ser melhorada com mais formação, pois um trabalhador informado e munido de conhecimentos sólidos é capaz de melhor fazer os diagnósticos e de tomar decisões rápidas e ajustadas à situação. Por outro lado, os gestos e as acções erróneas executadas de «forma automática» raramente se evitam com mais formação.

Nestes casos a prevenção pode, eventualmente, passar pela existência de barreiras físicas ou de alarmes que impeçam alguns comportamentos/gestos perigosos; mas nem sempre é tecnicamente possível ou viável implementar este tipo de meios de prevenção, porque os gestos «automáticos» são difíceis de prever. Optou-se por não se apresentar qualquer conclusão, dado não ser este o âmbito da presente dissertação.

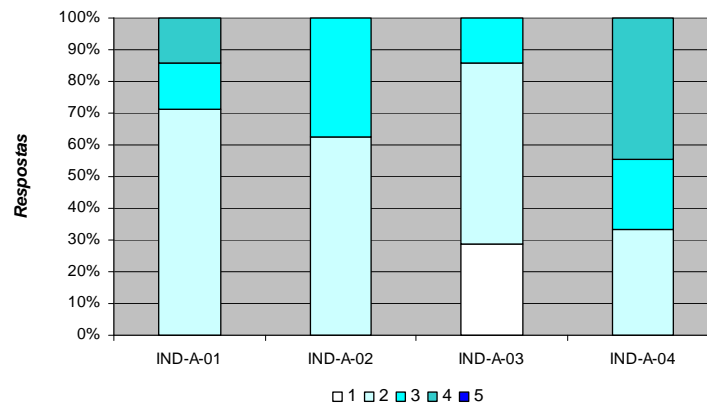


Fig. 6.6 – Resultados da avaliação das funções cognitivas e da sua execução

6.3.2.2.2 Funções gerais – temporárias do indivíduo

Os factores temporários surgem aleatoriamente, quando isso acontece exercem uma influência no comportamento das pessoas. As respostas às questões relativas às funções gerais – temporárias de cada inquirido estão representadas graficamente na figura (6.7) e podem ser expressas da seguinte forma:

- ✓ cerca de 30% dos inquiridos referiu que sente frequentemente dificuldades em reparar num sinal de aviso de um equipamento que esteja a ser objecto de intervenção;
- ✓ cerca de 25% dos inquiridos assumiu que com frequência é vítima das chamadas «brancas» de informação;
- ✓ mais de 20% dos inquiridos respondeu que sente frequentemente dores «recorrentes» nos últimos tempos;
- ✓ mais de 10% dos inquiridos sente permanentemente medo de falhar e de perder o emprego;
- ✓ mais de 10% dos inquiridos respondeu que desvia sistemática ou frequentemente a atenção das tarefas que executa para acontecimentos próximos;
- ✓

- ✓ relativamente às restantes funções gerais temporárias, as respostas foram, de um modo geral, satisfatórias, não identificando potenciais problemas como frequentes.

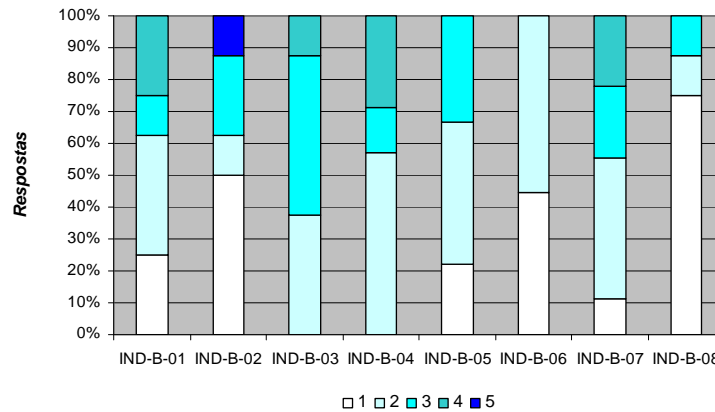


Fig. 6.7 – Resultados da avaliação das funções gerais - temporárias do indivíduo

6.3.2.2.3 Funções gerais – permanentes do indivíduo

Os factores permanentes são os que estão sempre presentes, exercendo por isso uma influência constante no comportamento dos indivíduos. As respostas às questões relativas às funções gerais – permanentes de cada inquirido estão representadas graficamente na figura (6.8) e podem ser expressas da seguinte forma:

- ✓ cerca de 45% dos inquiridos refere ter problemas como surdez, dificuldades visuais, daltonismo, dislexia, claustrofobia, doença crónica ou outra deficiência física;
- ✓ cerca de 25% dos inquiridos considera-se nervoso e/ou com dificuldade em analisar a sua personalidade;
- ✓ mais de 10% dos inquiridos assume-se como pessoa teimosa e/ou com excesso de confiança.

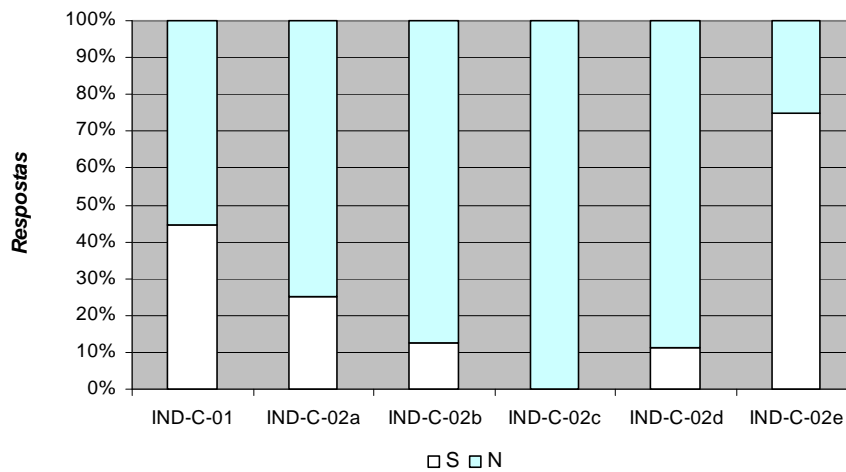


Fig. 6.8 – Resultados da avaliação das funções gerais -permanentes do indivíduo

6.3.2.3 Factores relacionados com o trabalho, a tarefa ou a tecnologia

6.3.2.3.1 Procedimentos, organização e concepção do trabalho

As respostas às questões relativas aos procedimentos, organização e concepção do trabalho dos inquiridos apresentam-se graficamente na figura (6.9). Os resultados mais críticos podem ser expressos da seguinte forma:

- ✓ metade dos inquiridos referiu que as tarefas de manutenção raramente são devidamente supervisionadas;
- ✓ cerca de 45% dos inquiridos respondeu que as tarefas de manutenção raramente são devidamente preparadas e planeadas;
- ✓ cerca de 30% dos inquiridos referiu problemas de familiaridade com os locais onde realiza as tarefas de manutenção; para 20% dos inquiridos a familiaridade é rara e 10% não revela qualquer tipo de familiaridade;
- ✓ para 30% dos inquiridos nunca existem planos de acções de emergência para os equipamentos mais críticos;

- ✓ para 25% dos inquiridos os meios disponíveis na manutenção são incapazes de atenuar as condições adversas do ambiente de trabalho, como sejam, o excesso de ruído, a falta de iluminação ou a atmosfera com poeiras;
- ✓ segundo a opinião de 25% dos inquiridos as tarefas de manutenção são raramente orientadas por instruções e/ou procedimentos de trabalho;
- ✓ para 25% dos inquiridos as tarefas de manutenção só ocasionalmente são concluídas, enquanto que para cerca de 10% são-no raramente.

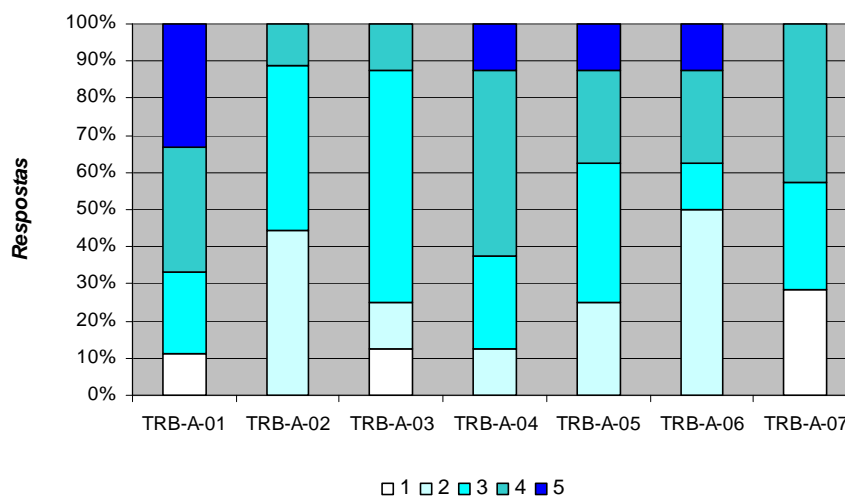


Fig. 6.9 – Resultados da avaliação dos procedimentos, da organização e da concepção do trabalho

6.3.2.3.2 Tecnologia e equipamentos

As respostas dos inquiridos às questões relativas à tecnologia e aos equipamentos utilizados na unidade em estudo estão representadas graficamente na figura (6.10), e podem ser expressas da seguinte forma:

- ✓ segundo a opinião de quase 70% dos inquiridos, raramente existem equipamentos ou ferramentas modernos e bem mantidos que facilitem a realização das tarefas de manutenção; já para 10% dos inquiridos isso nunca acontece;

- ✓ segundo a opinião de quase 35% dos inquiridos, raramente existem boas condições de acesso aos equipamentos que facilitem a realização das tarefas de manutenção; já para 10% dos inquiridos isso nunca acontece;
- ✓ segundo a opinião de quase 40% dos inquiridos, raramente existem equipamentos ou ferramentas, disponíveis em número suficiente para a realização das tarefas de manutenção;
- ✓ cerca de 20% dos inquiridos considera que raramente existem equipamentos de protecção individual disponíveis e adequados às condições de trabalho da manutenção; quando existem, 11% dos inquiridos diz que raramente são confortáveis e 10% é da opinião de que nunca o são;
- ✓ segundo a opinião de 20% dos inquiridos, raramente se encontram instaladas barreiras de protecção nos equipamentos instalados.

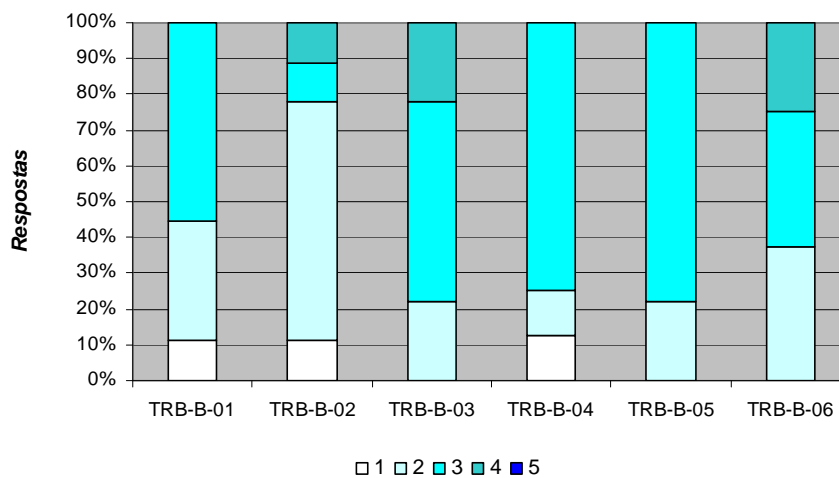


Fig. 6.10 – Resultados da avaliação da tecnologia e dos equipamentos

6.3.2.3.3 Formação, comunicação e motivação

As respostas dos inquiridos às questões sobre a formação, a comunicação e a motivação são apresentadas na figura (6.11), e podem assim ser expressas de forma sintetizada por ordem decrescente de sua criticidade:

- ✓ a totalidade dos inquiridos considera que existe escassez de recursos humanos na manutenção, bem como falta de formação nas diversas áreas;
- ✓ cerca de 90% dos inquiridos considera que os recursos humanos da manutenção estão envelhecidos;
- ✓ para 80% dos inquiridos a manutenção tem falta de reconhecimento público na empresa;
- ✓ segundo a opinião de 70% dos inquiridos a pressão exercida pelas chefias é excessiva;
- ✓ metade dos inquiridos respondeu que existem problemas de comunicação entre os serviços de produção e de manutenção;
- ✓ para 45% dos inquiridos existem problemas de comunicação entre os colegas da manutenção;
- ✓ apenas 40% dos inquiridos considera que conhece todos os perigos potenciais da actividade da manutenção.

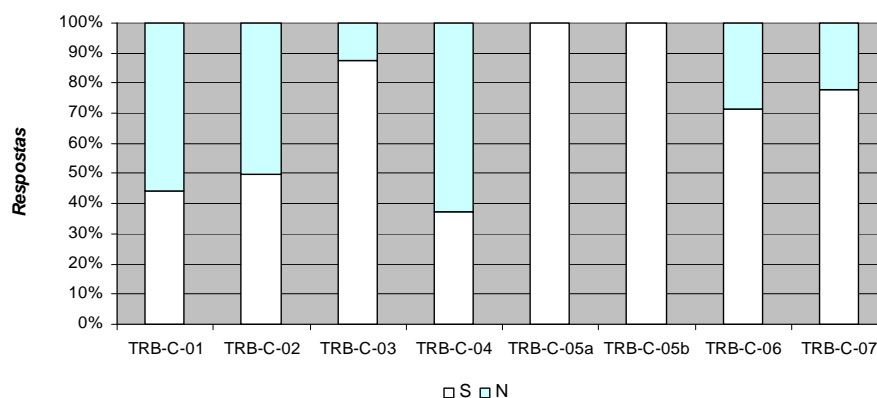


Fig. 6.11 – Resultados da avaliação da formação, da comunicação e da motivação

6.4 Discussão dos resultados

Os esquemas de classificação dos factores influenciadores utilizados pelo método *WAIT*, enquanto ferramenta de diagnóstico e de análise dos acidentes organizacionais, podem revelar-se muito úteis, mas necessitam ser adaptados de forma lógica e integrada. A sua utilidade revela-se no âmbito da prevenção dos acidentes, porque aponta pistas importantes em diversas vertentes, como ficou demonstrado neste trabalho com a sua adaptação para aplicação preventiva na unidade em estudo.

Todas as vertentes apontadas por esse método foram analisadas, à excepção da cognitiva, uma vez que exige conhecimentos dessa área da psicologia que extravasam os objectivos do trabalho e exigiriam ao autor um esforço adicional desproporcionado. Ficou, no entanto, a indicação expressa de que poderá ser integrada no estudo dos conceitos RAMS em trabalhos futuros, desde que apoiada por especialistas da matéria.

Os resultados, embora exploratórios, permitem algumas reflexões de que se salientam as cinco principais. Contudo, deve ressaltar-se alguma subjectividade da análise enquanto modo de prevenção.

1.^a conclusão – diz respeito aos locais de trabalho que os técnicos de manutenção consideram, de um modo geral, com níveis de ruído demasiado elevados e com uma limpeza deficiente. Das três secções que constituem a unidade em estudo, a que apresenta piores resultados é a da granulação que, para além do ruído elevado, ainda tem o problema grave do desconforto térmico e o da falta de acessibilidades aos equipamentos;

2.^a conclusão – na opinião dos técnicos de manutenção, é elevada a frequência de realização, simultaneamente, de várias tarefas de manutenção ou dispõe-se de pouco tempo para o efeito. Há ainda uma elevada percentagem de respostas que refere que as tarefas de manutenção são incorrectamente atribuídas e não são devidamente preparadas, planeadas nem supervisionadas;

3.^a conclusão – no que respeita às funções gerais de cada indivíduo, regista-se que metade dos inquiridos afirmou ter problemas de saúde; embora se trate de queixas, deveriam ser confirmadas por exames clínicos pois poderão condicionar o desempenho das tarefas;

4.^a conclusão –segundo a opinião da maioria dos inquiridos, raramente existem equipamentos ou ferramentas modernas e bem conservadas para a realização das tarefas de manutenção; quando existem, são em número insuficiente.

5.^a conclusão – há um generalizado nível de desmotivação no seio da equipa de manutenção, pois cerca de 80% dos inquiridos refere que a manutenção tem falta de reconhecimento público na empresa e tem problemas de comunicação. Há ainda escassez de recursos humanos e falta de formação nas diversas áreas, que afectam o desempenho deste departamento.

CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA O FUTURO

1. Conclusões

2. Sugestões para o futuro

7.1 Conclusões

A metodologia desenvolvida nesta investigação procurou integrar o conceito científico de fiabilidade dos sistemas reparáveis (Ascher & Feingold, 1984) com as ferramentas de gestão da qualidade – Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA) (Stamatis, 1995) e análise de custos (Baptista & Dias, 2007) –, para identificar em cada estrato a política de manutenção mais adequada. Por último, foi aplicado o método Técnica de Análise e Investigação de Acidentes de Trabalho (Jacinto, 2005), no âmbito da segurança ocupacional, para a análise dos riscos inerentes às tarefas de manutenção. Esta metodologia de investigação poderá ser aplicada a uma grande variedade de sistemas industriais e não apenas à unidade de extracção de oleaginosas estudada neste trabalho.

As unidades de extracção de oleaginosas, dada a sua elevada complexidade e o grande número de subsistemas que as compõem, constituem um tipo de sistemas reparáveis onde a aplicação desta metodologia se pode fazer de uma forma muito abrangente.

A aplicação experimental desta metodologia só foi possível a partir de uma base de dados históricos, resultante da compilação das falhas do sistema em estudo registadas nos boletins de controlo da produção, durante os períodos de tempo considerados no trabalho.

O conjunto de dados obtidos permitiu uma investigação centrada fundamentalmente em três grandes vertentes:

- i. a vertente das causas das interrupções da produção, que foram agrupadas em causas comerciais, causas externas, causas de exploração e causas técnicas. Estas últimas, as causas técnicas, foram o objecto de estudo do presente trabalho. A partir da determinação dos tempos de duração das reparações de cada subsistema, tornou-se possível conhecer a sua influência no tempo de duração da interrupção da produção. Por outro lado, foram desenvolvidos e aplicados os modelos baseados nos Processos de Poisson para calcular a taxa de falhas, tanto do sistema reparável como dos subsistemas constituintes. Os resultados obtidos mostram que a fiabilidade da unidade em estudo melhorou substancialmente ao longo do período em análise.
- ii. a vertente do subsistema reparável com menor disponibilidade, para otimizar a sua política de manutenção. Aplicou-se a Análise Modal de Efeitos e Falhas (FMEA) para lhe determinar o componente crítico, sendo assim possível planear a sua manutenção preventiva com base na sua fiabilidade e manutibilidade utilizando a distribuição de Weibull. Finalmente, completou-se o planeamento de manutenção através da análise do custo mínimo.
- iii. a vertente prática da aplicação do método WAIT, no âmbito da melhoria da segurança ocupacional. Esta opção mostrou-se adequada à realidade em estudo e permitiu avaliar os factores de maior risco de acidentes quanto ao desempenho das tarefas de manutenção na unidade industrial em estudo. A análise detalhada dos factores de risco revelou a potencialidade do método e a sua possível extensão a outras unidades. De acrescentar, apenas, que pelo facto de se tratar de um tema por vezes sensível, deverá a sua aplicação exigir particular cuidado.

Finalmente, ficou-nos a sensação de que a presente investigação poderia abranger, de uma forma integrada, todos os subsistemas da unidade em estudo. De facto, alguma investigação ficou por desenvolver, nomeadamente no que se refere ao estudo da manutibilidade de subsistemas complexos, como é, por exemplo, a família dos decantadores

centrífugos. O mesmo se pode considerar relativamente à influência da matéria-prima em laboração, com as falhas técnicas decorrentes.

7.1.1 Análise global da disponibilidade da Extracção 1

A análise global da Extracção 1 foi realizada considerando todas as falhas técnicas ocorridas nos dois períodos em estudo (21 de Agosto de 2003 a 12 de Agosto de 2004 e 29 de Agosto de 2004 a 11 de Agosto de 2005), de forma a calcular para o conjunto do sistema e dos respectivos subsistemas a sua fiabilidade e a sua manutibilidade.

Este sistema industrial, num contexto de ocorrências segundo um processo estocástico pontual, comporta-se segundo um Processo de Poisson Homogéneo (HPP) onde se verifica que a taxa de falhas é constante. A aplicação do Teste de Laplace concluiu que a sequência cronológica dos acontecimentos é totalmente aleatória.

Repetindo a aplicação do Teste de Laplace aos subsistemas constituintes, verificou-se que os mesmos se comportam de igual forma, com excepção dos arrefecedores e dos transportadores de corrente, no primeiro ensaio, e dos sem-fim, extractores e quadros eléctricos, no segundo ensaio. Num contexto de ocorrências segundo um processo estocástico pontual, comportam-se segundo Processos de Poisson Não Homogéneos (NHPP) onde se verifica uma tendência para uma taxa de falhas decrescente, isto no caso dos arrefecedores durante o primeiro ensaio e dos quadros eléctricos durante o segundo ensaio.

O modelo não paramétrico de Crow permitiu avaliar o crescimento do valor esperado do MTBF destes subsistemas. A aplicação do Teste de Laplace identificou a presença de uma tendência na sequência cronológica dos acontecimentos. De facto, os intervalos de tempo entre falhas tendem a aumentar à medida que aumenta o tempo de duração destes subsistemas. Esta tendência só é possível manter, em termos práticos, com um esforço acentuado de procura da melhoria da fiabilidade dos subsistemas.

Por outro lado, verifica-se que existe uma tendência para uma taxa de falhas crescente no caso dos transportadores de corrente, durante o primeiro ensaio, e no caso dos extractores e dos sem-fim, durante o segundo ensaio. Esta tendência acontece nestes equipamentos quando existe uma causa assinalável no processo, como por exemplo, condições de trabalho severas

(temperatura e humidade elevadas) ou por existência de componentes constituintes com função de risco crescente.

Relativamente aos tempos de interrupção da produção provocados por causas ou falhas técnicas, conclui-se, em termos globais, que aumentaram do primeiro período para o segundo período em estudo. Constatou-se que os equipamentos que mais contribuíram para essa situação foram os decantadores, cujos tempos médios de reparação aumentaram significativamente de um ensaio para o outro.

Finalmente, embora os decantadores apresentem tempos médios de reparação extremamente elevados, são os transportadores de corrente que apresentam o pior indicador de disponibilidade. Esta situação resulta do facto da fiabilidade dos decantadores ser significativamente superior à dos transportadores de corrente.

7.1.2 Planeamento da manutenção dos transportadores de corrente

Aplicada a Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA) aos principais órgãos e componentes dos transportadores de corrente, foi possível diagnosticar o componente mais crítico deste subsistema; este diagnóstico, que procurou ajustar-se o melhor possível à realidade da instalação, foi feito em função do critério de ocorrência das falhas, da gravidade dos seus efeitos e da probabilidade de não detecção dessas falhas.

Neste caso, concluiu-se ser a corrente de transporte o componente mais crítico. Para além deste, existem ainda três órgãos ou componentes que possuem um nível de criticidade significativo, embora muito inferior ao da corrente de transporte, e que são: os retentores da embraiagem hidráulica (quando existem); os carretos do conjunto de transmissão; o sensor de velocidade. Para além destes componentes, foram objecto de planeamento específico de manutenção preventiva os modos de falha considerados com efeitos catastróficos.

A análise da fiabilidade das correntes de transporte foi realizada utilizando a distribuição de Weibull, para uma amostra das falhas com um tempo de duração mínimo de 15 dias ocorridas durante os dois períodos em estudo. Resultou desta análise que, se a fiabilidade desejada for de 90% em 95% dos casos, o intervalo das inspecções ou intervenções deverá ser de quatro dias.

Por outro lado, considerando os tempos técnicos de reparação das correntes de transporte durante os períodos em análise, segundo modelação da distribuição de Weibull, conclui-se que em 95% dos casos, para um indicador de manutibilidade desejado de 90%, seriam necessárias 5 horas e 42 minutos de duração da reparação (em caso de manutenção correctiva).

Finalmente, de modo a completar o planeamento da manutenção preventiva, tornou-se necessário estudar as suas implicações económicas; isto para o caso de se aplicar um programa de manutenção preventiva ou se manter a manutenção correctiva ou curativa. Através de diversas interacções concluiu-se que, face aos custos, a solução economicamente mais vantajosa seria proceder a um programa de manutenção preventiva de sete em sete dias, utilizando as gamas de trabalho definidas no capítulo V.

7.1.3 Avaliação da segurança das tarefas de manutenção

Da aplicação do método WAIT adaptado, como análise preventiva dos riscos associados às tarefas de manutenção desenvolvidas na unidade em estudo, tornou-se possível, auscultar a opinião dos intervenientes. Embora se trate de informações de carácter subjectivo, podem revelar alguns caminhos mais críticos no âmbito da segurança ocupacional, que carecem de uma abordagem prática.

A primeira grande conclusão a retirar do tratamento dos dados obtidos é que as condições de trabalho são difíceis, de um modo geral, principalmente na secção da granulação, que apresenta níveis de ruído e de desconforto térmico elevados bem como a existência de fracas acessibilidades aos equipamentos. Recorde-se que esta secção possui equipamentos com peças pesadas e de grandes dimensões e o seu espaço é exíguo. De acordo com Dhillon (1999), estes factores são causas importantes para a ocorrência de erros humanos.

Sugere-se que, nesta instalação, o *layout* industrial e a própria nave industrial sejam objecto de um estudo com vista à sua melhoria. Por outro lado, sugere-se ainda a obrigatoriedade do uso de protecções auriculares eficazes durante a realização das tarefas.

Finalmente, e de um modo geral, deveria ser aplicado um plano de limpeza rigoroso nas instalações.

Também se destaca que as tarefas de manutenção são frequentemente realizadas, ou em simultâneo ou com pouco tempo; por outro lado, referem os seus intervenientes que não são devidamente planeadas, preparadas e supervisionadas. Pode concluir-se que a primeira constatação (condições de trabalho difíceis) é uma consequência do segundo resultado (falta de manutenção programada); ou seja, se ocorrerem numerosas tarefas de manutenção sem estarem previstas devido a falhas inesperadas, isso obriga a um esforço suplementar das equipas de manutenção. Como os recursos humanos são limitados, estas equipas têm que executar várias tarefas em simultâneo ou sob pressão, para diminuir o tempo de imobilização dos equipamentos.

Para tal, sugere-se um desenvolvimento no âmbito da engenharia de manutenção, no sentido de elaborar planos de manutenção pró-activos que tentem minimizar as avarias imprevistas. Este grupo de trabalho deverá reunir-se periodicamente para ajustar os planos de intervenção com base nas avarias que vão sucedendo.

No que diz respeito aos problemas de saúde referidos pelos inquiridos, apresentados como queixas, estes deverão confirmados através de exames clínicos, uma vez que representam fortes condicionantes para o desempenho profissional.

A referência dos inquiridos à escassez de ferramentas modernas e operacionais para a realização das tarefas é outra das importantes causas de ocorrência de erros humanos, conforme confirma Dhillon (2002). Neste aspecto, sugere-se, por um lado, que os equipamentos a adquirir minimizem a necessidade de ferramentas especiais; por outro lado, sugere-se que sejam objecto de anotações as situações deste tipo para se definir uma política de aprovisionamentos adequada para o parque de máquinas existente.

Last but not least (por fim, mas não menos importante), sente-se um nível de desmotivação generalizado por falta de reconhecimento externo dos serviços e por dificuldades de comunicação. Estando provado que a falta de motivação é uma das principais causas de erros humanos (Dhillon, 1999), sugerem-se duas medidas: primeira, que passem a ser avaliadas as performances de manutenção (tempos técnicos de reparação, tempos de duração dos equipamentos, indicadores de disponibilidade dos equipamentos reparados,

sugestões de medidas qualitativas de optimização industrial, etc.), para que as pessoas envolvidas tenham a percepção que o seu trabalho é acompanhado e tem divulgação externa; segunda, que haja um rigoroso cumprimento do plano de formação, principalmente a formação interna.

Como se pode verificar, as grandes reflexões foram apontadas para desenvolvimentos futuros, por via de um método qualitativo adaptado para uma análise preventiva de acidentes organizacionais.

7.2 Sugestões para o futuro

Sugere-se a implementação e a verificação prática da metodologia proposta nesta pesquisa, para a validar. Apesar de toda a investigação que lhe serviu de base, temos consciência de que todas as metodologias possuem as suas imperfeições, pelo que necessitam de aperfeiçoamento permanente. Testar para confirmar, será o desafio futuro.

Este pensamento torna-se ainda mais consistente, quando se assiste a um aumento substancial de trabalhos onde estas metodologias foram, de uma maneira geral, discutidas e aplicadas, em áreas como a indústria automóvel e a aeroespacial, etc. Ao contrário, é escassa ou nula a publicação de trabalhos científicos aplicados à indústria de extracção de oleaginosas onde estas metodologias sejam abordadas, o que torna mais premente a implementação desta proposta.

Ficou demonstrada a potencialidade da aplicação da metodologia RAMS ao tipo de sistema como o da Extracção I; isto é, um sistema reparável complexo, estratificado em subsistemas de vários níveis, que ainda pode ser estudado ao nível mais elementar – o dos órgãos e componentes constituintes. No entanto, existem algumas condições de ordem prática que devem ser tomadas em consideração, para que este tipo de abordagem possa ter sucesso:

- i. a garantia da existência de uma base de dados históricos desenhada de acordo com os conceitos RAMS, que terá de ser permanentemente actualizada com dados fiáveis;
- ii. a constituição de um grupo de trabalho para o tratamento da informação e para a avaliação periódica dos resultados;

- iii. o apoio empenhado por parte da direcção industrial.

Face ao trabalho desenvolvido e às metodologias usadas, pensa-se que tal representou alguma inovação no que se refere à análise de sistema complexos, considerando-se que se desconhecem quaisquer aplicações utilizando esta abordagem. Acredita-se, contudo, que se poderia ter ido mais longe na investigação, assim tivesse havido mais meios humanos e materiais. A partir deste trabalho, poder-se-ia equacionar o alargamento da investigação aos seguintes aspectos:

- i. outros subsistemas da unidade: para orientar as políticas de manutenção no sentido de uma maior eficácia, e para sujeitar os contratos de fornecimento de equipamentos e de prestação de serviços a parâmetros RAMS;
- ii. análise da influência de covariáveis: por exemplo, a eventual correlação entre as falhas técnicas ocorridas na unidade e a matéria-prima em laboração ou a eventual correlação entre as falhas técnicas ocorridas e a idade dos equipamentos utilizando um Modelo de Riscos Proporcionais (PHM);
- iii. análise preventiva de acidentes: com base no desenvolvimento de um método objectivo a partir do método WAIT, com aplicação prática nas instalações industriais de modo a estudar as falhas humanas ligadas à sua probabilidade (matéria desenvolvida em medicina).
- iv. conhecimento das técnicas de manutenção preditiva: com vista à sua incorporação nas gamas de manutenção preventiva, definindo intervalos de aplicação baseados em conceitos científicos de fiabilidade.

BIBLIOGRAFIA

- ASCHER, H. & FEINGOLD, H. (1984). *Repairable system reliability. modelling, inference, misconceptions and their causes*. New York: Marcel Dekker.
- BAPTISTA, L. & DIAS, J. (2007). *RAMS Aplicado a sistemas reparáveis de uma extracção de oleaginosas*. Comunicação apresentada ao II Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade do European Safety and Reliability Association (Lisboa).
- BEECH, H. R.; BURNS, L. E. & SHEFFIELD, B. F. (1982). *A Behavioural approach to the management of stress*. Chichester: John Wiley & Sons.
- CABRAL, J. S. (1998). *Organização e gestão da manutenção: dos conceitos à prática*. Lisboa: Lidel Edições Técnicas.
- CARRASQUE, O. A. (2001). *Manual de extracção para treinamento dos operadores das fábricas Bunge – Divisão Ceval*. S. Francisco do Sul: Bunge.
- CROW, L. H. (1974). Reliability an analysis for complex repairable systems. In *Reliability and biometry* [Proschan, F. & Serfling, R. J. eds.]. Philadelphia: SIAM, pp. 379-410.
- COX, D. R. (1972). Regression models and life tables (with discussion). *J. Royal Statistical Society*, série. B, n.º 34, pp. 187-220.
- DHILLON, B. S. (1989). *Life cycle cost: techniques, models, and applications*. New York: Gordon and Breach Science Publishers.
- DHILLON, B. S. (1999). *Design reliability: fundamentals and applications*. Florida-Boca Raton: CRC Press LLC.
- DHILLON, B. S. (2002). *Engineering maintenance, a modern approach*. Florida-Boca Raton: CRC Press LLC.
- DIAS, J. A. M. (2002). *Fiabilidade em redes de distribuição de energia eléctrica*. Lisboa: Tese de Doutoramento apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

- DIAS, J. A. M.; PEREIRA, Z. L. & LEITÃO, A. L. F. (2002). A gestão da manutenção industrial pela fiabilidade. In *Gestão da qualidade*. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- FERREIRA, L. A. (1998). *Uma introdução à manutenção*. Porto: Publindústria Edições Técnicas.
- FERREIRA, L. A.; RESENDE, P. S. & SILVA, N. O. (2001). Aplicação industrial do RCM: metodologia e análise crítica. *Manutenção*, n.º 72, pp. 10-15.
- FERREIRA, L. A. (2002). A importância de atingir níveis elevados de disponibilidade e segurança em sistemas complexos. In *Actas do 7.º Congresso Nacional de Manutenção* (Viseu), pp. 15-29.
- GUIMARÃES, M. A. (2001). *Manual de preparação para treinamento dos operadores das fábricas Bunge – Divisão Ceval*. S. Francisco do Sul: Bunge.
- HAGEN, E. W. (1976). Human reliability analysis. *Nuclear Safety*, n.º 17, pp. 315-326.
- HOLLNAGEL, E. (1998). *Cognitive reliability and error analysis method – CREAM*. Oxford: Elsevier Science L.^{td}.
- HOYLAND, A. & RAUSAND, M. (1994). *System reliability theory. models and statistical methods*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- JACINTO, C. (2003). *A structured method for the investigation and analysis of occupational accidents*. Birmingham: Ph. D. thesis – School of Engineering, Mechanical & Manufacturing Engineering – University of Birmingham.
- JACINTO, C. (2005). *Técnica de análise e investigação de acidentes de trabalho: manual de utilização do WAIT*. Lisboa: Edições Profissionais.
- JACINTO, C. (2005a). Metodologias para análise de acidentes de trabalho. In *Análise e gestão de riscos, segurança e fiabilidade* [C. Guedes Soares; A. P. Teixeira & P. Antão eds.]. Lisboa: Edições Salamandra, vol. I, pp. 183-202.
- KALBFLEISCH, J. D. & PRENTICE, R. L. (1980). *The Statistical analysis of failure time data*. New York: Wiley.
- KECECIOGLU, D. (1991). *Reliability engineering handbook*. New Jersey: Prentice Hall Inc., vols. 1 e 2.

- KNIGHT, C. R. (1991). Four decades of reliability progress. In *Proceedings annual reliability and maintainability symposium*. New York: IEEE – Reliability Society, pp. 156-159.
- LAWLESS, J. F. (1982). *Statistical models and methods for lifetime data*. New York: Wiley.
- LEITÃO, A. L. F. (1989). *Proportional hazards methods in industrial reliability and maintenance*. Birmingham: Ph. D. thesis – University of Birmingham.
- LEOCÁDIO, M. N. (2004). *Incorporação RAMS no desenvolvimento de produtos de base tecnológica: uma abordagem holística a veículos ferroviários*. Lisboa: Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa.
- MEISTER, D. (1966). Human factors in reliability. In *Reliability handbook* [Ireson, W. G. ed.]. New York: McGraw-Hill.
- MIGUEL, A. S. S. R. (1998). *Manual de higiene e segurança do trabalho*. Porto: Porto Editora.
- MOBLEY, R. K. (2002). *An Introduction to predictive maintenance*. Boston: Butterworth Heinemann.
- MORAIS, L. & FERREIRA, L. A. (2004). *Metodologia de análise de equipamentos industriais com vista à sua manutenção*. Porto: Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- MURTHY, D. N. P.; ATRENS, A. & ECCLESTON, J. A. (2002). Strategic maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 8, n.º 4, pp. 287-305.
- O'CONNOR, P. D. T. (1991). *Practical reliability engineering*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- ORGAN, M.; WHITEHEAD, T. & EVANS, M. (1997). Availability-based maintenance within an asset management programme. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 3, n.º 4, pp. 221-232.
- PEREIRA, Z. L. (2000). Análise modal de falhas e efeitos. In *Apointamentos da gestão da qualidade*, pp. 230-279. [Texto policopiado].

- PINTELON, L.; NAGARUR, N. & VAN PUYVELDE, F. (1999). Case Study: RCM – yes, no or maybe? *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 5, n.º 3, pp. 182-191.
- REASON, J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Aldershot – Hampshire: Ashgate Publishing L.^{td}.
- SHAHIDI, F. (2005). *Bailey's industrial oil and fat products*. New York: Jonh Wiley & Sons, Inc. [disponível em: <http://www.mrw.interscience.wiley.com/biofp>].
- SILVA, M. & GUERRA, M. (2005). A Aplicação das análises RAMS nos sistemas e equipamentos fornecidos pela Efacec – Sistemas de Electrónica SA, no âmbito do Metro do Porto. In *Análise e gestão de riscos, segurança e fiabilidade* [C. Guedes Soares; A. P. Teixeira & P. Antão eds.]. Lisboa: Edições Salamandra, vol. II, pp. 335-352.
- SILVA, J. M. (2005). Análise de projecto na óptica da manutenção. In *Actas do 8º Congresso Nacional de Manutenção* (Lisboa).
- SMITH, S. (1993). *Reliability centred maintenance*. Washington: Reuters Prof. Books.
- STAMATIS, D. H. (1995). *Failure mode and effect analysis*. Milwaukee: ASQ.
- SURESH, N.; RAO, A. N. V. & BABU, A. J. G. (1996). A software reliability growth model. *International Journal of Quality & Reliability Management*. vol.13, n.º 3, pp. 84-94.
- TSANG, A. H. C. (1995). Condition-based maintenance: tools and decision making, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 1, n.º 3, pp. 3-17.
- VILLEMEUR, A. (1992). *Reliability, availability, maintainability and safety assessment*. New York: John Wiley & Sons Inc.

ANEXO I

EQUIPAMENTOS AFECTOS À EXTRACÇÃO I

1. Introdução

2. Equipamentos instalados: agrupados por famílias

3. Equipamentos instalados: agrupados por sectores

4. Layout industrial

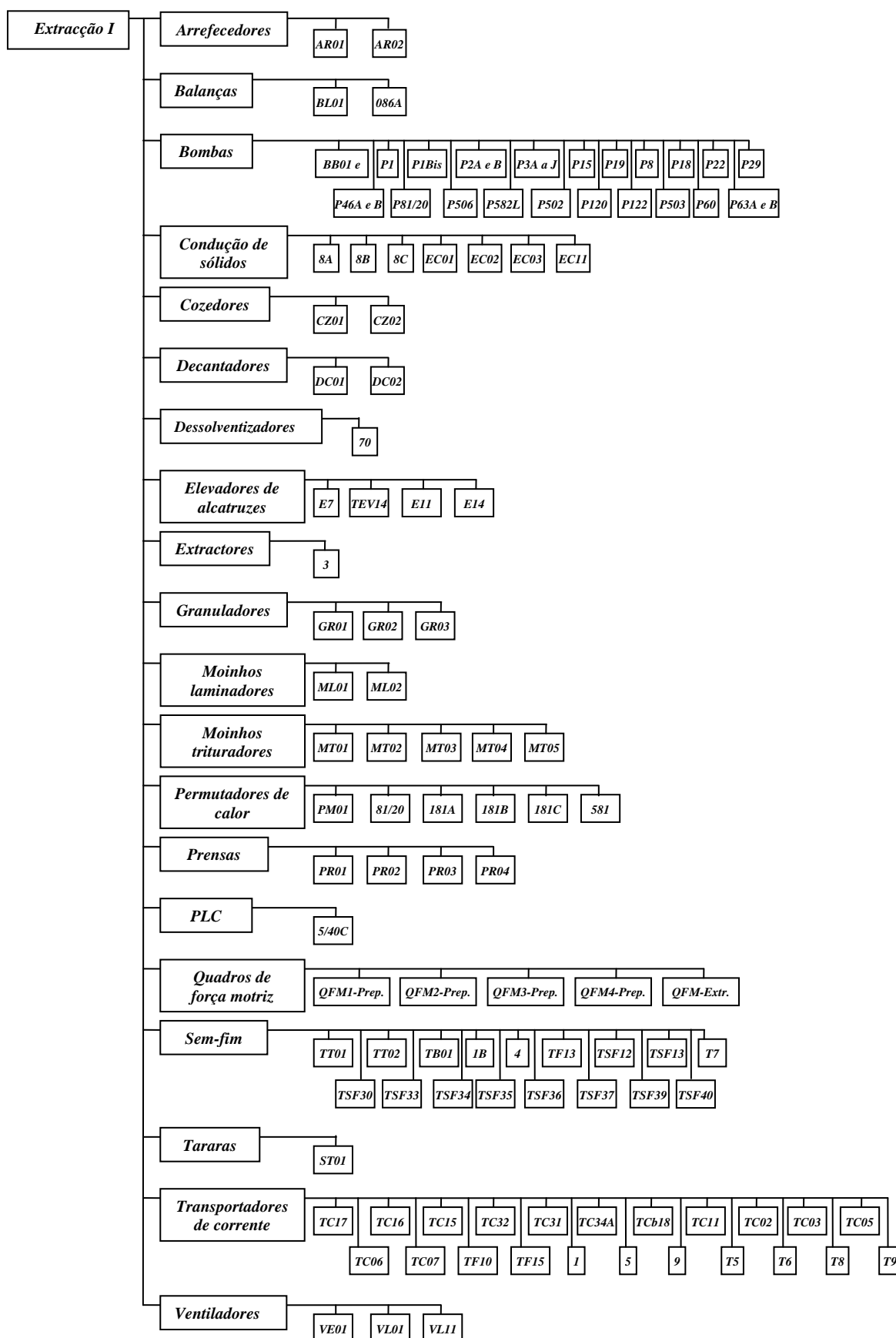
1.1 Introdução

O presente Anexo pretende caracterizar os equipamentos afectos à Extracção I, alvos de estudo como subsistemas reparáveis no âmbito da metodologia RAMS. Para tal, foram agrupados por famílias em função das suas características funcionais.

Para além desta organização por famílias, também se acrescenta a divisão dos equipamentos por sectores da instalação, de modo a tornar-se mais perceptível o âmbito do estudo.

Finalmente, incluem-se os *layout* dos diversos sectores da instalação, respeitando o critério utilizado neste trabalho, de acordo com o Shahidi (2005), e reportando-o aos períodos em que decorreram os ensaios.

I.2 Equipamentos instaladas: agrupados por famílias

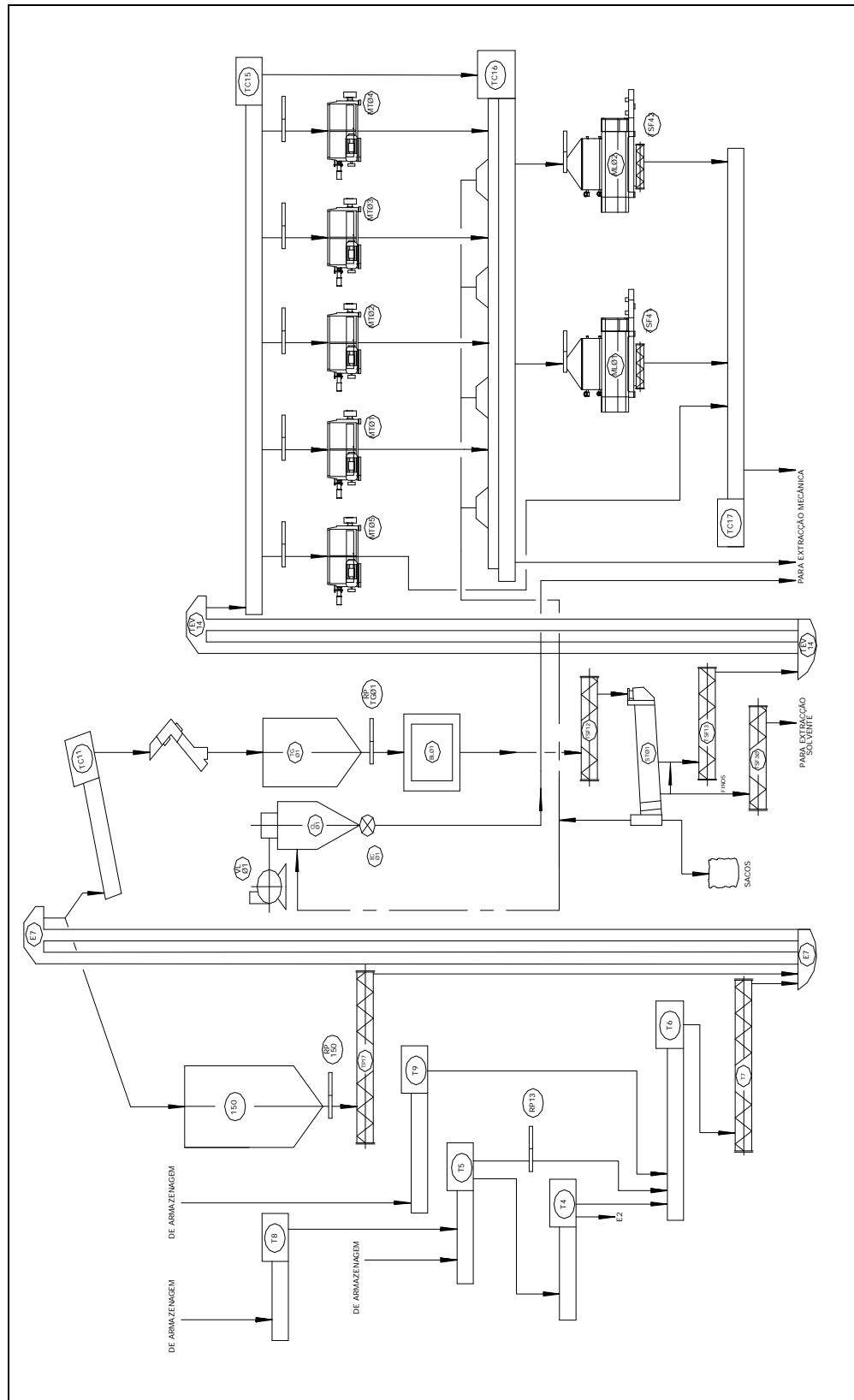


1.3 Equipamentos instalados: agrupados por sector

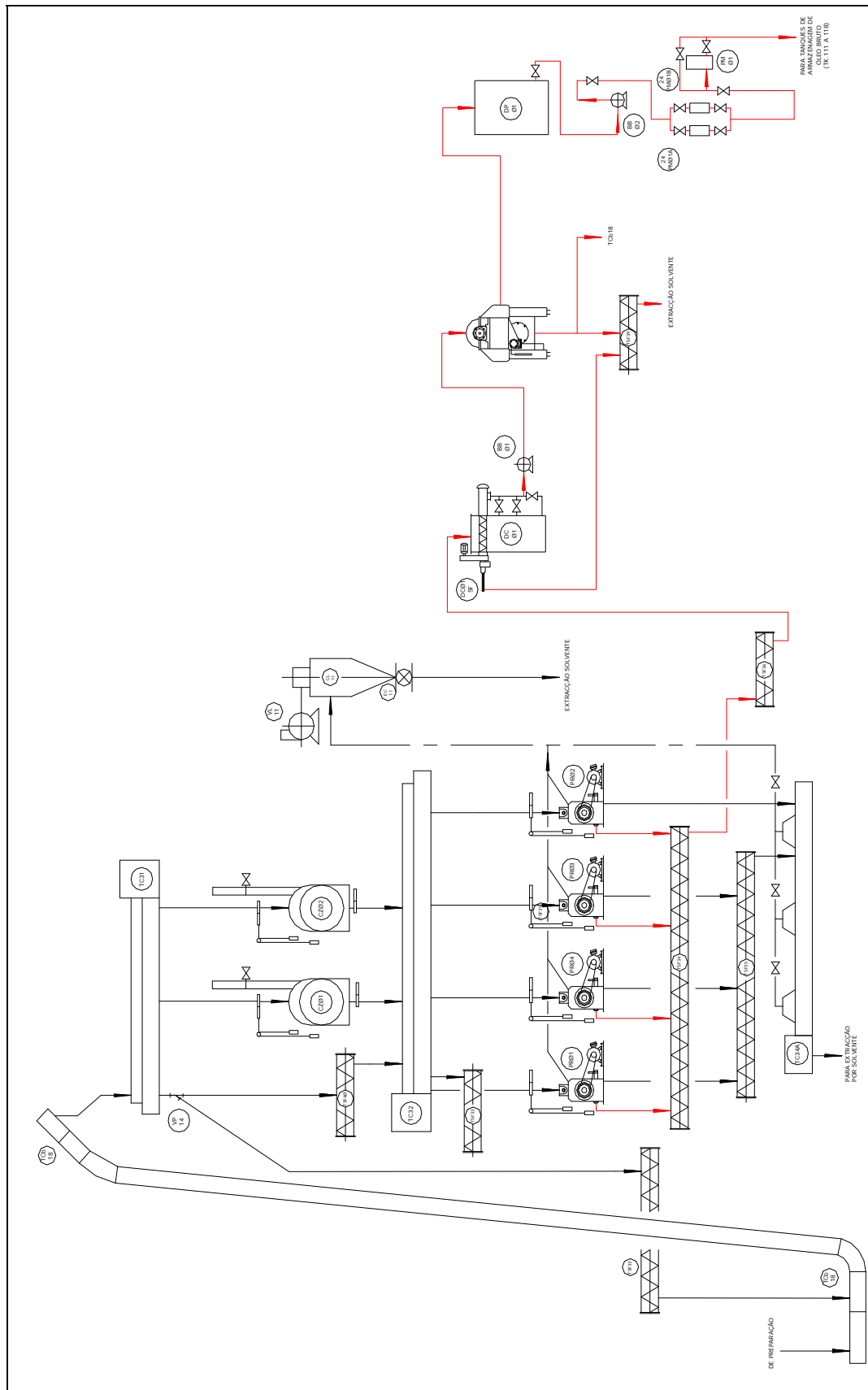
<div>FASES PROCESSO</div> <div>SUBSISTEMAS</div>	<div>Limpeza Pesagem</div>	<div>Trituração Laminagem</div>	<div>Cozedura Prensagem</div>	<div>Decantação</div>	<div>Extracção de solvente</div>	<div>Destilação Desgomagem</div>	<div>Dessolventização</div>	<div>Granulação Armazenagem</div>
Arrefecedores								AR01 AR02
Balanças	BL01							086A
Bombas				BB01 BB02	P1 P1Bis P2A e B P3A a J P15 P46A e B P63A e B	P8; P18 P19; P22 P60; P81/20 P120; P122 P502; P503 P506; P582L	P29	
Condução de sólidos					8A		8B 8C	EC01 EC02 EC03
Cozedores			CZ01 CZ02					
Decantadores				DC01 DC02				
Dessolventizadores							70	
Elevadores de alcatruzes	E7	TEV14						E11 E14
Extractores					3			
Granuladores								GR01 GR02 GR03
Moinhos laminadores		ML01 ML02						
Moinhos trituradores		MT01 MT02 MT03 MT04 MT05						
Permutadores de calor				PM01		81/20 181A 181B 181C 581		
Prensas			PR01 PR02 PR03 PR04					
PLC					5/40C			
Quadros de força motriz	QFM1- Prep	QFM2-Prep	QFM3- Prep	QFM4- Prep	QFM-Extr.			
Sem-fim	TSF12 TSF13 T7 TSF30		TSF33 TSF34 TSF35 TSF40	TSF36 TSF37 TSF39	1B 4 TB01		TT01 TT02 TB01	TF13
Tararas	ST01							
Transportadores de corrente	T5 T6 T8 T9 TC11 TCb18	TC15 TC16 TC17	TC31 TC32 TC34A		1		5 9	TC02 TC05 TC03 TC06 TC07 TF10 TF15
Ventiladores	VL01		VL11					VE01

I.4 Layout industrial

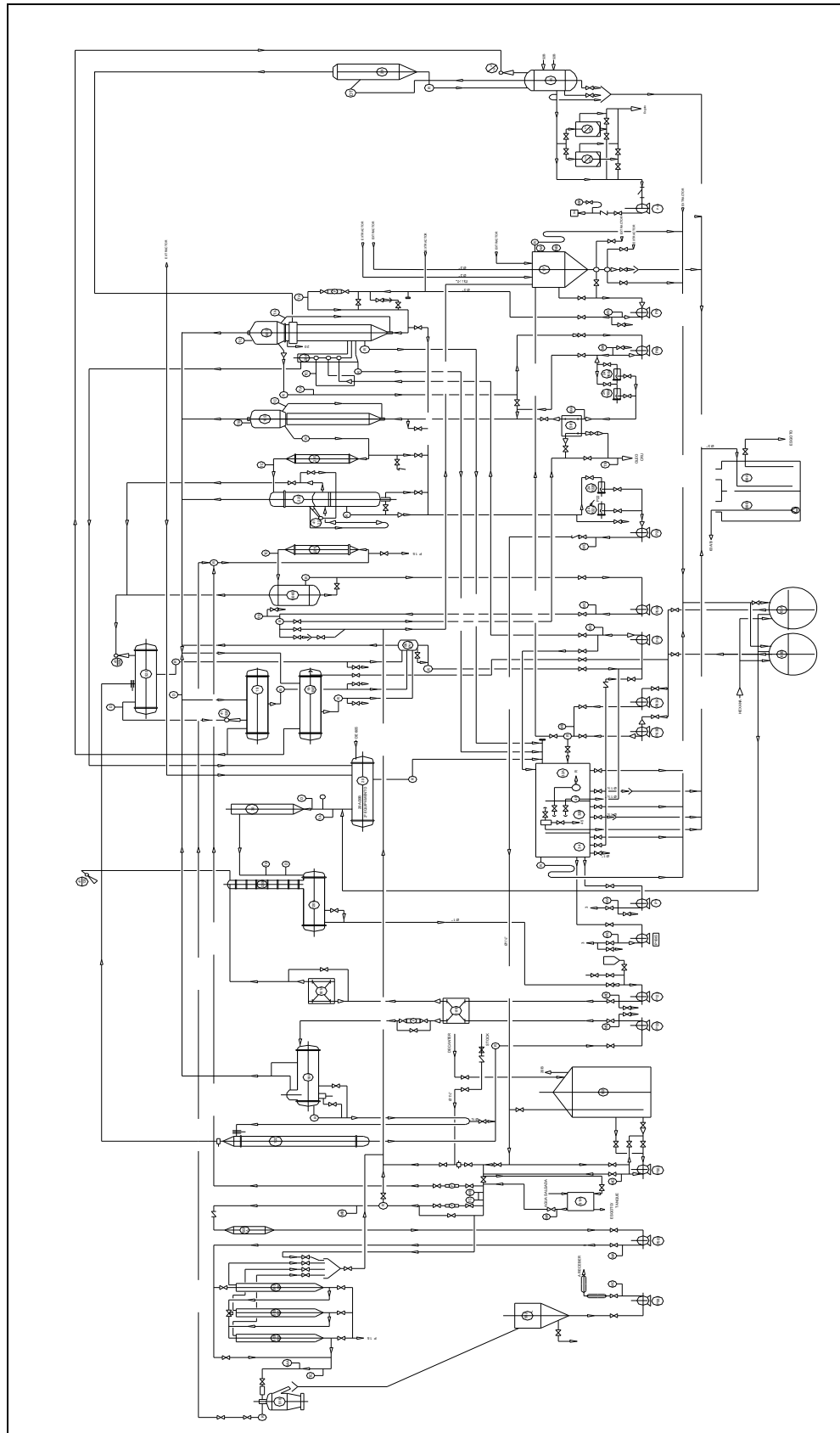
a) Esquema da Preparação



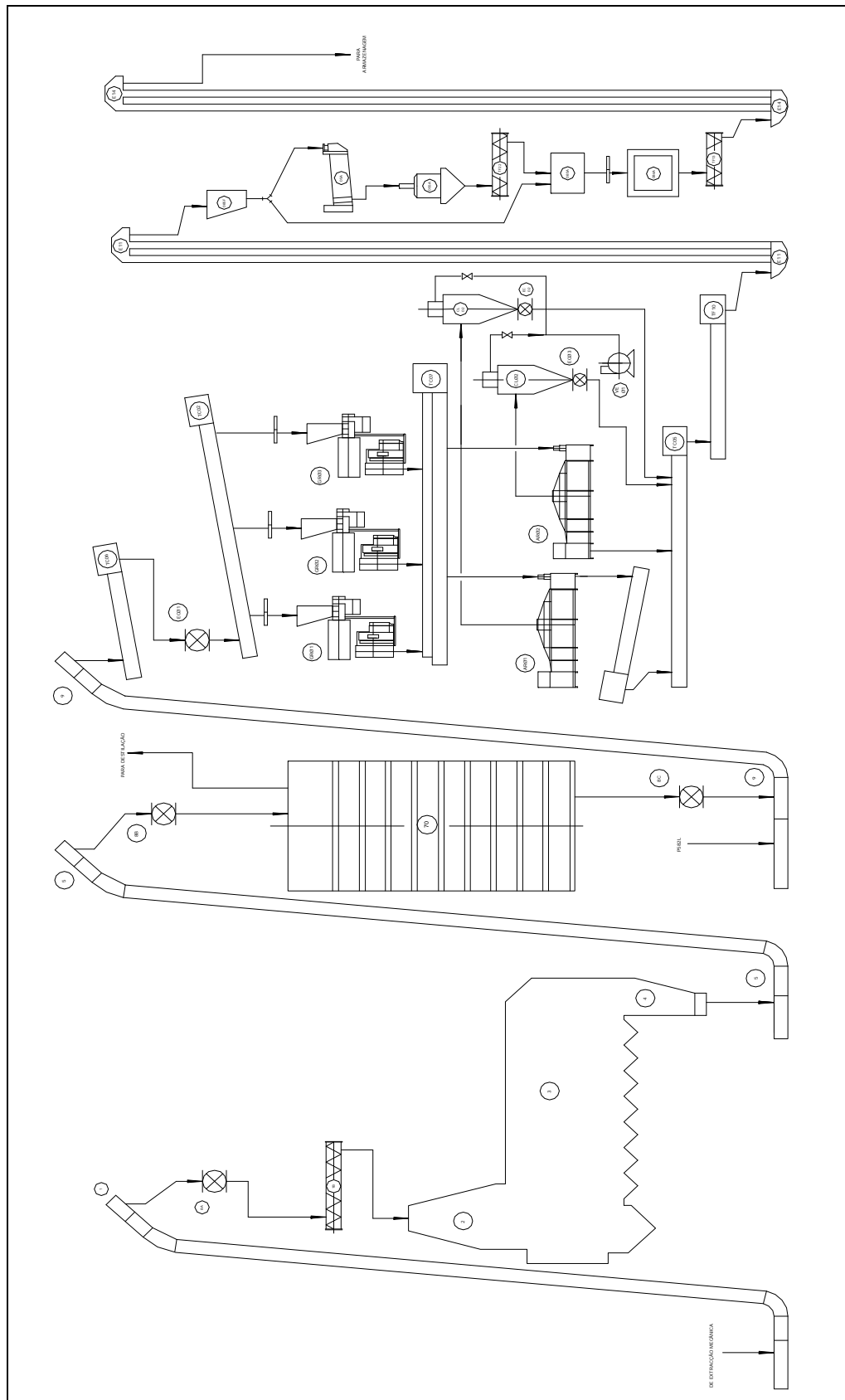
b) Esquema da Extração mecânica



c) Esquema da Extracção por solvente: circuito de óleo/hexano



d) Esquema da Extracção por solvente: circuito de sólidos



ANEXO II

ANÁLISE MODAL DE FALHAS E EFEITOS (FMEA)

1 Introdução

2 Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA)

II.1 Introdução

O presente Anexo pretende apresentar a Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA), desenvolvida para a família de transportadores de corrente instalados na Extracção I, de acordo com a decomposição hierárquica indicada no quadro (II.1) abaixo.

Quadro II.1 – Decomposição hierárquica dos transportadores de corrente

<i>Grupo</i>	<i>Órgão</i>	<i>Componente</i>
<i>Accionamento eléctrico</i>	<i>Motor eléctrico</i>	<i>Rolamentos</i>
		<i>Circuito magnético</i>
		<i>Ventoinha</i>
<i>Sistema eléctrico</i>	<i>Quadro de potência</i>	<i>Fusíveis</i>
		<i>Relés térmicos</i>
		<i>Contactores</i>
		<i>Terminais</i>
	<i>Quadro de comando</i>	<i>Terminais</i>
		<i>Botoneiras</i>
<i>Accionamento mecânico</i>	<i>Acoplamento elástico</i>	<i>Elemento elástico</i>
	<i>Redutor</i>	<i>Engrenagens</i>
		<i>Rolamentos</i>
		<i>Retentores</i>
	<i>Embraiagem hidráulica</i>	<i>Rolamentos</i>
		<i>Retentores</i>
		<i>Fusível térmico</i>
	<i>Conjunto de transmissão</i>	<i>Carretos de transmissão</i>
		<i>Corrente de transmissão</i>
		<i>Fusível mecânico</i>
<i>Estação motora</i>		<i>Roda motriz e veio</i>
		<i>Rolamentos</i>
<i>Estação tensora</i>		<i>Roda tensora e veio</i>
		<i>Rolamentos</i>
		<i>Tensores</i>
		<i>Tampa de sobre caudal</i>
<i>Corrente de transporte</i>		<i>Barras</i>
		<i>Elos</i>
		<i>Cavilhas</i>
		<i>Freios</i>
<i>Corpo</i>		<i>Guias de desgaste</i>
		<i>Painéis laterais</i>
		<i>Painéis de fundo</i>
		<i>Tampas</i>

II.2 Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA)

Falha Funcional	Órgão / Componente	Modo de Falha	Causa Falha	O	Efeito Falha Órgão	Efeito Falha Substância	Efeito Falha Sistema	G	Modos Detecção Produção	Modos Detecção Manutenção	D	NPR
Acionamento AC	1.1	1	Fim vida útil dos rolamentos	1	Disparo relé térmico do motor Imobilização prolongada do TC	Imobilização prolongada do motor eléctrico	Interrupção prolongada da produção	6	Sem controlo	Inspeção condição dos rolamentos (ruído, temperatura e vibrações)	2	42
			Deterioração acelerada dos rolamentos por sobrecarga de funcionamento do motor eléctrico	1	Disparo relé térmico do motor Imobilização prolongada do TC	Imobilização prolongada do motor eléctrico	Interrupção prolongada da produção	6	Limitar arranques em carga Controlo amperagem	Inspeção condição dos rolamentos (ruído, temperatura e vibrações)	2	
			Deterioração acelerada dos rolamentos por ventilação deficiente	1	Disparo relé térmico do motor Imobilização prolongada do TC	Imobilização prolongada do motor eléctrico	Interrupção prolongada da produção	6	Inspeção visual da ventoinha	Inspeção estado da ventoinha	3	
	1.2	1	Arranques sucessivos em carga	5	Disparo relé térmico do motor Imobilização breve do TC	Envelhecimento isolamento do estator	Interrupção da produção	1	Limitar arranques em carga Controlo amperagem	Inspeção condição motor (temperatura)	4	20
		2	Arranques sucessivos em carga	1	Disparo relé térmico do motor Imobilização prolongada do TC	Danificação do circuito magnético	Interrupção prolongada da produção	6	Limitar arranques em carga Controlo amperagem	Inspeção condição motor (temperatura)	4	24
	1.3	1	Sujidade na grelha de protecção do ventilador	2	Disparo relé térmico do motor Imobilização breve do TC	Envelhecimento isolamento do estator	Interrupção da produção	3	Inspeção visual Limpeza grelha ventilação	Inspeção condição motor (temperatura) Inspeção visual	3	30

Falha Funcional	Órgão/ Componente	Modo de Falha	Causa Falha	O	Efeito Falha Órgão	Efeito Falha Subsistema	Efeito Falha Sistema	G	Modos Detecção Produção	Modos Detecção Manutenção	D	NPR
Accionamento AC	2.1	Acoplamento (Elemento elástico)	Arranques sucessivos em carga	1	Actuação detector velocidade Imobilização do TC	Perda transmissão por danificação do acoplamento	Interrupção da produção	4	Controlo amperagem	Inspeção estado do acoplamento	2	24
			Fim vida útil do elemento elástico	1	Actuação detector velocidade Imobilização do TC	Perda transmissão por danificação do acoplamento	Interrupção da produção	4	Controlo amperagem	Inspeção estado do acoplamento	2	
			Temperatura ambiente muito elevada	1	Actuação detector velocidade Imobilização do TC	Perda transmissão por danificação do acoplamento	Interrupção da produção	4	Controlo amperagem	Inspeção estado do acoplamento	2	
	3.1	Embraiagem hidráulica (Retentores)	Fim vida útil dos retentores	2	Actuação detector velocidade Imobilização do TC	Perda de transmissão por fuga de óleo Disparo fusível térmico por sobreaquecimento	Interrupção da produção	6	Controlo amperagem	Cumprimento plano lubrificação	3	126
			Folga de rolamentos	3	Actuação detector velocidade Imobilização do TC	Perda de transmissão por fuga de óleo Disparo fusível térmico por sobreaquecimento	Interrupção da produção	6	Controlo amperagem	Cumprimento plano lubrificação	3	
			Sobreaquecimentos consecutivos da embraiagem	2	Actuação detector velocidade Imobilização do TC	Perda de transmissão por fuga de óleo Disparo fusível térmico por sobreaquecimento	Interrupção da produção	6	Controlo amperagem	Cumprimento plano lubrificação	3	

Falha Funcional	Órgão/ Componente	Modo de Falha	Causa Falha	O	Efeito Falha Órgão	Efeito Falha Subsistema	Efeito Falha Sistema	G	Modos Detecção Produção	Modos Detecção Manutenção	D	NPR
Accionamento AC	3.2	Embraiagem hidráulica (Pratos Embraiagem)	Lubrificação deficiente	1	Actuação detector velocidade	Perda de transmissão por falta de óleo	Interrupção da produção	6	Controlo amperagem	Cumprimento plano lubrificação	2	48
			Arranques sucessivos em carga	3	Actuação detector velocidade Imobilização do TC	Disparo fusível térmico por sobreaquecimento	Interrupção da produção	6	Limitar arranques em carga	Cumprimento plano lubrificação	2	
	3.3	Embraiagem hidráulica (Rolamentos)	Sobreaquecimentos consecutivos da embraiagem	2	Actuação detector velocidade Disparo relé térmico do motor Imobilização prolongada do TC	Imobilização prolongada da embraiagem	Interrupção prolongada da produção	6	Sem controlo	Cumprimento plano lubrificação Inspeção condição dos rolamentos (ruído, temperatura e vibrações)	2	36
			Fim vida útil dos rolamentos	1	Disparo relé térmico do motor Imobilização prolongada do TC	Imobilização prolongada da embraiagem	Interrupção prolongada da produção	6	Sem controlo	Cumprimento plano lubrificação Inspeção condição dos rolamentos (ruído, temperatura e vibrações)	2	

Falha Funcional	Órgão / Componente	Modo de Falha		Causa Falha	O	Efeito Falha Órgão	Efeito Falha Subsistema	Efeito Falha Sistema	G	Modos Detecção Produção	Modos Detecção Manutenção	D	NPR
Accionamento AC	3.4	1	Disparo do fusível térmico	Sobreaquecimento da embraiagem por arranques sucessivos em carga	2	Actuação detector velocidade Imobilização do TC	Inobilização da embraiagem	Interrupção da produção	4	Sem controlo	Sem controlo	4	64
				Sobreaquecimento da embraiagem por nível de óleo baixo (Lubrificação deficiente)	2	Actuação detector velocidade Imobilização do TC	Inobilização da embraiagem	Interrupção da produção	4	Sem controlo	Inspeção do funcionamento do fusível térmico Cumprimento plano lubrificação	4	
	4.1	1	Desgaste anormal do dentado das engrenagens	Lubrificação deficiente	1	Disparo relé térmico do motor Imobilização prolongada do TC	Danificação dentado das engrenagens por falta de óleo	Interrupção prolongada da produção	6	Inspeção do ruído de funcionamento	Cumprimento plano lubrificação Inspeção da condição (vibrações, temperatura e ruído)	3	36
				Folga dos rolamentos	1	Disparo relé térmico do motor Imobilização prolongada do TC	Danificação dentado das engrenagens por falta de óleo	Interrupção prolongada da produção	6	Inspeção do ruído de funcionamento	Cumprimento plano lubrificação Inspeção da condição (vibrações, temperatura e ruído)	3	
		2	Ruptura do dentado das engrenagens	Entrada de objectos estranhos no TC	1	Disparo relé térmico do motor Imobilização prolongada do TC	Ruptura do dentado das engrenagens	Interrupção prolongada da produção	6	Inspeção do ruído de funcionamento	Cumprimento plano lubrificação Inspeção da condição (vibrações, temperatura e ruído)	3	18

Falha Funcional	Órgão / Componente	Modo de Falha	Causa Falha	O	Efeito Falha Órgão	Efeito Falha Subsistema	Efeito Falha Sistema	G	Modos Detecção Produção	Modos Detecção Manutenção	D	NPR	
Accionamento AC	4.2	Redutor (Retentores)	Fim vida útil dos retentores	2	Disparo relé térmico do motor Imobilização prolongada do TC	Nível de óleo baixo devido a fugas Danificação dentado das engrenagens por falta de óleo	Interrupção prolongada da produção	6	Sem controlo	Cumprimento plano lubrificação Inspeção da condição (vibrações, ferrografia)	3	36	
		1											
	4.3	Redutor (Rolamentos)	Lubrificação deficiente Fim vida útil dos rolamentos	1	Disparo relé térmico do motor Imobilização prolongada do TC	Imobilização prolongada da embraagem	Interrupção prolongada da produção	6	Sem controlo	Cumprimento plano lubrificação Inspeção condição do redutor (ruído, temperatura e vibrações)	3	36	
		1											
				Lubrificação deficiente	2	Disparo relé térmico do motor Imobilização do TC	Danificação dentado e consequente perda de transmissão	Interrupção da produção	4	Inspeção visual	Cumprimento plano lubrificação Inspeção sensorial	2	112
	5.1	Conjunto transmissão (Carretos)	Desgaste anormal do dentado carretos		4	Disparo relé térmico do motor Imobilização do TC	Danificação dentado e consequente perda de transmissão		Interrupção da produção	4	Inspeção sensorial	Inspeção sensorial	3
				Alteração passo corrente transmissão por dilatação corrente transmissão	4	Disparo relé térmico do motor Imobilização do TC	Danificação dentado e consequente perda de transmissão	Interrupção da produção	4	Inspeção sensorial	Inspeção sensorial	3	

Falha Funcional	Órgão/ Componente	Modo de Falha	Causa Falha	O	Efeito Falha Órgão	Efeito Falha Subsistema	Efeito Falha Sistema	G	Modos Detecção Produção	Modos Detecção Manutenção	D	NPR
Accionamento AC	5.2	1	Sobrecarga do equipamento	2	Actuação detector velocidade	Perda de transmissão	Interrupção da produção	4	Inspeção sensorial	Inspeção sensorial	3	48
			Fim vida útil da corrente de transmissão	2	Inobilização do TC	Perda de transmissão	Interrupção da produção	4	Inspeção sensorial	Inspeção sensorial	3	
	5.3	1	Sobredimensionamento da tensão de corte do material	2	Ruptura diversos elementos	Não entra em ruptura	Interrupção da produção	3	Limitar arranques em carga Inspeção funcionamento do fusível mecânico	Inspeção funcionamento do fusível mecânico	4	48
			Geometria defeituosa do fusível	2	Ruptura diversos elementos Actuação do relé térmico do motor	Não entra em ruptura	Interrupção da produção	3	Limitar arranques em carga Inspeção funcionamento do fusível mecânico	Inspeção funcionamento do fusível mecânico	4	

Falha Funcional	Órgão / Componente	Modo de Falha	Causa Falha	O	Efeito Falha Órgão	Efeito Falha Subsistema	Efeito Falha Sistema	G	Modos Detecção Produção	Modos Detecção Manutenção	D	NPR
Sistema Eléctrico SE	1.1	1	Fusíveis queimados	5	Imobilização do TC	Corte alimentação eléctrica ao motor	Interrupção da produção	1	Limitar arranques em carga	Sem controlo	4	36
				3	Imobilização do TC	Corte alimentação eléctrica ao motor	Interrupção da produção	1	Sem controlo	Inspeção condição eléctrica (termografia)	3	
				1	Imobilização do TC	Corte alimentação eléctrica ao motor	Interrupção da produção	1	Sem controlo	Inspeção condição eléctrica (termografia)	3	
				1	Imobilização do TC	Corte alimentação eléctrica ao motor	Interrupção da produção	1	Sem controlo	Sem controlo	4	
	1.2	1	Disparo relés térmicos	4	Imobilização do TC	Corte alimentação eléctrica ao motor	Interrupção da produção	2	Limitar arranques em carga	Sem controlo	4	70
				4	Imobilização do TC	Corte alimentação eléctrica ao motor	Interrupção da produção	2	Limitar arranques em carga	Sem controlo	4	
				1	Imobilização do TC	Corte alimentação eléctrica ao motor	Interrupção da produção	2	Sem controlo	Controlo termografia	3	
	1.3	1	Falhas Contactores	1	Imobilização do TC	Corte alimentação eléctrica ao motor	Interrupção da produção	4	Limitar arranques em carga	Sem controlo	4	40
				2	Imobilização do TC	Corte alimentação eléctrica ao motor	Interrupção da produção	4	Sem controlo	Inspeção condição eléctrica (termografia)	3	

Falha Funcional	Órgão/ Componente	Modo de Falha		Causa Falha	O	Efeito Falha Órgão	Efeito Falha Subsistema	Efeito Falha Sistema	G	Modos Detecção Produção	Modos Detecção Manutenção	D	NPR
Sistema Eléctrico SE	1.4	1	Desaperto terminais/cabl agens	Vibração	2	Imobilização do TC	Aumento temperatura placas terminais	Interrupção da produção	3	Sem controlo	Inspeção condição eléctrica (termografia)	3	18
	2.1	1	Desaperto terminais/cabl agens	Vibração	2	Imobilização do TC	Aumento temperatura placas terminais	Interrupção da produção	3	Sem controlo	Inspeção condição eléctrica (termografia)	3	18
	2.2	1	Desaperto Botoneiras/ca biagens	Vibração	2	Imobilização do TC	Aumento temperatura placas terminais	Interrupção da produção	3	Sem controlo	Inspeção condição eléctrica (termografia)	3	18
		2	Desgaste Botoneiras	Fim vida útil das Botoneiras	2	-	Risco choque eléctrico	Explosão em zonas classificadas	6	Inspeção visual	Inspeção visual	1	12

Falha Funcional	Órgão / Componente	Modo de Falha	Causa Falha	O	Efeito Falha Órgão	Efeito Falha Subsistema	Efeito Falha Sistema	G	Modos Detecção Produção	Modos Detecção Manutenção	D	NPR
Estação Motriz EM	1.1 Estação motriz (Rolamentos)	1 Gripagem rolamentos	Lubrificação deficiente	1	Disparo relé térmico	Imobilização da roda motriz	Interrupção prolongada da produção	6	Inspeção sensorial	Cumprimento plano lubrificação Inspeção condição (ruído, temperatura, vibrações)	2	36
					Imobilização prolongada do TC					Inspeção condição (ruído, temperatura, vibrações)		
			Fim vida útil dos rolamentos	1	Disparo do relé térmico	Imobilização da roda motriz	Interrupção prolongada da produção	6	Inspeção sensorial	Cumprimento plano lubrificação Inspeção condição (ruído, temperatura, vibrações)	2	
					Imobilização prolongada do TC					Inspeção condição (ruído, temperatura, vibrações)		
			Temperatura envolvente elevada	1	Sobrecarga do TC	Imobilização da roda motriz	Interrupção prolongada da produção	6	Inspeção sensorial	Cumprimento plano lubrificação Inspeção condição (ruído, temperatura, vibrações)	2	
					Disparo relé térmico Imobilização prolongada do TC					Inspeção condição (ruído, temperatura, vibrações)		

Falha Funcional	Órgão/ Componente	Modo de Falha	Causa Falha	O	Efeito Falha Órgão	Efeito Falha Subsistema	Efeito Falha Sistema	G	Modos Detecção Produção	Modos Detecção Manutenção	D	NPR
Estação Motriz EM	Estação motriz (Roda Motriz) 1.2	1 Engrenamento o incorrecto do dentado	Alongamento do passo da corrente por acumulação de folgas	4	Sobrecarga do TC Actuação detector velocidade Perda de velocidade de transporte até inmobilização completa	Desgaste assimétrico	Interrupção da produção	2	Inspeção sensorial	Inspeção sensorial	3	36
			Deformação do dentado por desgaste	2	Sobrecarga do TC Actuação detector velocidade Perda de velocidade de transporte até inmobilização completa	Desgaste assimétrico	Interrupção da produção	2	Inspeção sensorial	Inspeção sensorial	3	
		2 Desalinhamen to da roda motriz	Cedência dos rolamentos	1	Sobrecarga do TC Actuação detector velocidade Perda de velocidade de transporte até inmobilização completa	Engrenamento incorrecto do dentado Desgaste assimétrico	Interrupção da produção	2	Inspeção sensorial	Inspeção sensorial	3	12
			Folga no veio	1	Sobrecarga do TC Actuação detector velocidade Perda de velocidade de transporte até inmobilização completa	Engrenamento incorrecto do dentado Desgaste assimétrico	Interrupção da produção	2	Inspeção sensorial	Inspeção sensorial	3	

Falha Funcional	Órgão / Componente	Modo de Falha	Causa Falha	O	Efeito Falha Órgão	Efeito Falha Subsistema	Efeito Falha Sistema	G	Modos Detecção Produção	Modos Detecção Manutenção	D	NPR
Estação Motriz EM	1.3	1	Corrosão/abrasão provocada pelo produto	1	Perda de produto	Nenhum	Instalação suja	1	Inspeção derrames produto	Inspeção desgaste	2	4
			Pás da corrente de transporte deformadas, sobretudo na zona onde o TC recebe o produto	1	Perda de produto	Nenhum	Instalação suja	1	Inspeção derrames produto	Inspeção desgaste	2	
	1.4	1	Corrosão/abrasão provocada pelo produto	1	Perda de produto	Nenhum	Instalação suja	1	Inspeção derrames produto	Inspeção desgaste	2	4
			Pás da corrente de transporte deformadas, sobretudo na zona onde o TC recebe o produto	1	Perda de produto	Nenhum	Instalação suja	1	Inspeção derrames produto	Inspeção desgaste	2	
	1.5	1	Falha no fim de curso	3	Atascamento do equipamento	Nenhum	Interrupção da produção	3	Sem controlo	Sem controlo	5	45
					Actuação do detector velocidade							

Falha Funcional	Órgão / Componente	Modo de Falha	Causa Falha	O	Efeito Falha Órgão	Efeito Falha Substema	Efeito Falha Sistema	G	Modos Detecção Produção	Modos Detecção Manutenção	D	NPR
Estação Tensora ET	1.1	1	Lubrificação deficiente	1	Sobrecarga do TC	Imobilização da roda tensora	Interrupção prolongada da produção	6	Inspeção sensorial	Cumprimento plano lubrificação	2	36
					Disparo relé térmico					Inspeção condição (ruído, temperatura, vibrações)		
			Fim vida útil dos rolamentos	1	Sobrecarga do TC	Imobilização da roda tensora	Interrupção prolongada da produção	6	Inspeção sensorial	Cumprimento plano lubrificação	2	
					Disparo relé térmico					Inspeção condição (ruído, temperatura, vibrações)		
			Temperatura envolvente elevada	1	Sobrecarga do TC	Imobilização da roda tensora	Interrupção prolongada da produção	6	Inspeção sensorial	Cumprimento plano lubrificação	2	
					Disparo relé térmico					Inspeção condição (ruído, temperatura, vibrações)		
					Imobilização prolongada do TC							

Falha Funcional	Órgão/ Componente	Modo de Falha	Causa Falha	O	Efeito Falha Órgão	Efeito Falha Subsistema	Efeito Falha Sistema	G	Modos Detecção Produção	Modos Detecção Manutenção	D	NPR	
Estação Tensora ET	1.2	1	Erro humano na operação	1	Desalinhamento da roda tensora e corrente de transporte, provocando a sua prisão	Imobilização do TC	Interrupção prolongada da produção	6	Limitação caudal	Inspeção estado dos tensores	3	54	
			Folga de rolamentos	1	Nenhum	Sobresforço da corrente de transporte	Interrupção prolongada da produção	6	Inspeção sensorial	Inspeção de ruído da roda tensora	3		
			Folga do veio	1	Nenhum	Sobresforço da corrente de transporte	Interrupção prolongada da produção	6	Inspeção sensorial	Inspeção de ruído da roda tensora	3		
	1.3	Estação tensora (Sensor velocidade)	1	Não actuação sensor velocidade	3	Nenhum	Inexistência de segurança de campo do TC	Interrupção prolongada da produção	6	Sem controlo	Sem controlo	4	72
			2	Sensor velocidade actuado indevidament e	3	Nenhum	Imobilização indevida do TC	Interrupção da produção	3	Inspeção visual	Inspeção visual	3	27
	1.4	Estação tensora (painéis laterais)	1	Corrosão/abrasão provocada pelo produto	1	Perda de produto	Nenhum	Instalação suja	1	Inspeção derrames produto	Inspeção desgaste	2	4
				Pás da corrente de transporte deformadas, sobretudo na zona onde o TC recebe o produto	1	Perda de produto	Nenhum	Instalação suja	1	Inspeção derrames produto	Inspeção desgaste	2	

Falha Funcional	Órgão/ Componente	Modo de Falha	Causa Falha	O	Efeito Falha Órgão	Efeito Falha Subsistema	Efeito Falha Sistema	G	Modos Detecção Produção	Modos Detecção Manutenção	D	NPR
Estação Tensora ET	1.5	1	Corrosão/abrasão provocada pelo produto	1	Perda de produto	Nenhum	Instalação suja	1	Inspeção derrames produto	Inspeção desgaste	2	4
			Pás da corrente de transporte deformadas, sobretudo na zona onde o TC recebe o produto	1	Perda de produto	Nenhum	Instalação suja	1	Inspeção derrames produto	Inspeção desgaste	2	
Corpo CP	1.1	1	Arranques em carga	3	Arrancamento de guias Imobilização prolongada do TC	Imobilização da corrente de transporte	Interrupção prolongada da produção	6	Sem controlo	Sem controlo	4	258
			Corrosão provocada por humidade do produto	2	Arrancamento de guias Imobilização prolongada do TC	Imobilização da corrente de transporte	Interrupção prolongada da produção	6	Sem controlo	Sem controlo	4	
			Fim vida útil da corrente	2	Arrancamento de guias Imobilização prolongada do TC	Imobilização da corrente de transporte	Interrupção prolongada da produção	6	Sem controlo	Previsão vida útil fornecida pelo fabricante	3	
			Guias de transporte levantadas	3	Arrancamento de guias Imobilização prolongada do TC	Imobilização da corrente de transporte	Interrupção prolongada da produção	6	Inspeção sensorial	Inspeção sensorial	3	
			Entrada de objectos estranhos	2	Arrancamento de guias Imobilização prolongada do TC	Imobilização da corrente de transporte	Interrupção prolongada da produção	6	Sem controlo	Sem controlo	4	
			Velocidade transporte elevada ($v > 0,5$ m/s)	2	Arrancamento de guias Imobilização prolongada do TC	Imobilização da corrente de transporte	Interrupção prolongada da produção	6	Sem controlo	Evitar velocidade de transporte acima do limite de velocidade	3	
			Tensão excessiva na corrente devida a esticamento exagerado	2	Arrancamento de guias Imobilização prolongada do TC	Imobilização da corrente de transporte	Interrupção prolongada da produção	6	Sem controlo	Inspeção visual dos esticadores por mola	3	
			Transporte com contacto dos freios nas guias de assentamento	2	Actuação detector velocidade	Imobilização da corrente de transporte	Nenhum	2	Sem controlo	Sem controlo	4	
					Imobilização do TC							

Falha Funcional	Órgão / Componente	Modo de Falha	Causa Falha	O	Efeito Falha Órgão	Efeito Falha Subsistema	Efeito Falha Sistema	G	Modos Detecção Produção	Modos Detecção Manutenção	D	NPR
Corpo CP	1.2	1	Troços soltos das guias de assentamento	Degolação dos parafusos fixadores das guias	2	Arrancamento de guias Imobilização prolongada do TC	Imobilização da corrente de transporte	Interrupção prolongada da produção	6	Sem controlo	2	24
	1.3	1	Rasgos nos painéis laterais	Abração associada à corrosão provocada pela humidade do produto	3	Perda de produto	Nenhum	Instalação suja	1	Inspeção derrames produto	2	14
				Desalinamento corrente de transporte	3	Perda de produto	Nenhum	Instalação suja	1	Inspeção derrames produto e ruído de funcionamento	2	
				Pás da corrente de transporte deformadas, sobretudo na zona onde o TC recebe o produto	1	Perda de produto	Nenhum	Instalação suja	1	Inspeção derrames produto	2	
	1.4	1	Rasgos nos painéis fundo	Abração associada à corrosão provocada pela humidade do produto	3	Perda de produto	Nenhum	Instalação suja	1	Inspeção derrames produto	2	14
				Guias fundo desgastadas	3	Perda de produto	Nenhum	Instalação suja	1	Inspeção derrames produto	2	
				Pás da corrente de transporte deformadas, sobretudo na zona onde o TC recebe o produto	1	Perda de produto	Nenhum	Instalação suja	1	Inspeção derrames produto	2	
	1.5	1	Gripagem roletes	Fim de vida útil	1	Danificação dos roletes	Eventual prisão da corrente de transporte Actuação do sensor velocidade Imobilização do TC	Interrupção da produção	5	Sem controlo	3	15

Falha Funcional	Órgão/ Componente		Modo de Falha		Causa Falha	O	Efeito Falha Órgão	Efeito Falha Subsistema	Efeito Falha Sistema	G	Modos Detecção Produção	Modos Detecção Manutenção	D	NPR
Corpo CP	1.6	Corpo (caídas)	1	Rasgos nas caídas	Abrasão associada à corrosão provocada pela humidade do produto	3	Perda de produto	Nenhum	Instalação suja	1	Inspeção derrames produto	Inspeção desgaste	2	6

ANEXO III

QUESTIONÁRIO DE SEGURANÇA APLICADO ÀS TAREFAS DE MANUTENÇÃO

1. Introdução

2. Estrutura do questionário

3. Formato final do questionário

III.1 Introdução

O presente Anexo apresenta a matriz base para a elaboração do questionário sobre segurança, aplicado aos intervenientes da manutenção na Extracção I. A partir dos dados recolhidos foi elaborado o estudo que se apresentou no Capítulo VI.

A matriz do questionário foi elaborada a partir dos esquemas de classificação da metodologia *Work Accidents Investigation Technique* (WAIT), gentilmente cedida pela sua autora, a Professora Doutora Celeste Jacinto. As legendas das abreviaturas utilizadas na representação gráfica do Capítulo VI constam do quadro VII.1.

Quadro III. 1 – Abreviaturas utilizadas no método WAIT

<i>Descritivo</i>	<i>Designação</i>
<i>Local e ambiente de trabalho</i>	<i>LAT</i>
<i>Grupo A – Local e ambiente circundante</i>	<i>LAT-A</i>
<i>Preparação</i>	<i>LAT-AP-..</i>
<i>Extracção por solvente</i>	<i>LAT-AE-..</i>

<i>Granulação</i>	<i>LAT-AG-..</i>
<i>Grupo B – Tarefa e trabalho</i>	<i>LAT-B</i>
<i>Grupo C – Informação, comunicação e equipamento</i>	<i>LAT-C</i>
<i>Indivíduo/relacionado com a pessoa</i>	<i>IND</i>
<i>Grupo A – Funções cognitivas+execução</i>	<i>IND-A-..</i>
<i>Grupo B – Funções gerais – temporárias</i>	<i>IND-B-..</i>
<i>Grupo C – Funções gerais – permanentes</i>	<i>IND-C-..</i>
<i>Factores relacionados com o trabalho, a tarefa ou a tecnologia</i>	<i>TRB</i>
<i>Grupo A – Procedimentos, organização e concepção do trabalho</i>	<i>TRB-A-..</i>
<i>Grupo B – Tecnologia e equipamento</i>	<i>TRB-B-..</i>
<i>Grupo C – Formação, comunicação e motivação</i>	<i>TRB-C-..</i>

III.2 Estrutura do questionário

a) Avaliação do local e ambiente de trabalho

	<i>Grupo A – Local e Ambiente circundante</i>	<i>Preparação</i>	<i>Extracção por solvente</i>	<i>Granulação</i>
01	<i>Nível de ruído ou vibração</i>			
02	<i>Iluminação</i>			
03	<i>Temperatura ambiente extrema (Inverno e Verão)</i>			
04	<i>Presença de fumos e poeiras</i>			
05	<i>Presença de alta voltagem e radiações</i>			
06	<i>Nível de limpeza das instalações</i>			
07	<i>Acessibilidades dos equipamentos</i>			
<i>5 – MUITO ELEVADO 4 – ELEVADO 3 – RAZOÁVEL/ACEITÁVEL 2 – BAIXO 1 – NULO</i>				

	<i>Grupo B – Tarefa e trabalho</i>	<i>1-2-3-4-5</i>
01	<i>As suas tarefas não são correctamente atribuídas?</i>	

02	<i>Sente falta de apoio nas suas tarefas quando trabalha em equipa?</i>	
03	<i>Prefere realizar tarefas individualmente ou em equipa?</i>	
04	<i>Realiza várias tarefas em simultâneo ou com pouco tempo?</i>	
05	<i>As suas tarefas são repetitivas?</i>	
06	<i>Realiza tarefas em horário de trabalho irregular?</i>	
07	<i>Realiza tarefas de manutenção durante a noite?</i>	
08	<i>Sente que não está familiarizado com os equipamentos onde realiza as tarefas de manutenção?</i>	
09	<i>Realiza tarefas de manutenção em equipamentos que considera perigosos?</i>	
5 – SEMPRE 4 – FREQUENTEMENTE 3 – POR VEZES 2 – RARAMENTE 1 – NUNCA		

	Grupo C – Informação, comunicação e equipamento	1-2-3-4-5
01	<i>Existem procedimentos de manutenção correctos para os equipamentos instalados?</i>	
02	<i>Os valores lidos nos manómetros, termómetros...(ou outra instrumentação) são correctos?</i>	
03	<i>A comunicação na equipa é simples e objectiva?</i>	
04	<i>Não é tolerante com os comportamentos de risco?</i>	
05	<i>Possui ferramentas adequadas e suficientes para a realização das tarefas?</i>	
06	<i>Não trabalha em equipamentos de manutenção difícil?</i>	
5 – SEMPRE 4 – FREQUENTEMENTE 3 – POR VEZES 2 – RARAMENTE 1 – NUNCA		

b) Avaliação do indivíduo/factores relacionados com a pessoa

	Grupo A – Funções cognitivas+Execução	1-2-3-4-5
01	<i>Tem dificuldade em detectar as causas da maioria das avarias?</i>	
02	<i>Engana-se nas medições realizadas ou na observação de determinados parâmetros?</i>	
03	<i>Sente que define incorrectamente a sequência dos trabalhos numa intervenção?</i>	
04	<i>Age de modo automático na realização das tarefas mais simples?</i>	
5 – SEMPRE 2 – FREQUENTEMENTE 3 – POR VEZES 2 – RARAMENTE 1 – NUNCA		

	Grupo B – Funções gerais – Temporárias	1-2-3-4-5
01	Ocorrem-lhe «brancas» de informação?	
02	Sente medo de falhar e de perder o emprego?	
03	Desvia a sua atenção para outra coisa que acontece perto de si?	
04	Tem dificuldade em reparar num sinal que acontece no equipamento onde intervém?	
05	Sente-se facilmente cansado?	
06	Nota falta de precisão ou que possui descoordenação de movimentos?	
07	Ultimamente tem sentido dores recorrentes?	
08	Tem problemas familiares ou pessoais?	
5 – SEMPRE 4 – FREQUENTEMENTE 3 – POR VEZES 2 – RARAMENTE 1 – NUNCA		

	Grupo C – Funções gerais – Permanentes	S / N
01	Apresenta surdez, dificuldades visuais, daltonismo, dislexia, claustrofobia, doença crónica ou qualquer deficiência física?	
02a	Considera-se uma pessoa nervosa?	
02b	Considera-se uma pessoa teimosa?	
02c	Considera-se uma pessoa agressiva?	
02d	Considera-se uma pessoa com excesso de confiança?	
02e	Tem facilidade em analisar a sua personalidade?	
S – SIM		N – NÃO

c) Avaliação dos factores relacionados com o trabalho, a tarefa ou a tecnologia

	Grupo A – Procedimentos, organização e concepção do trabalho	1-2-3-4
01	Está familiarizado com os locais onde realiza as tarefas de manutenção?	
02	As tarefas de manutenção são bem preparadas ou planeadas?	
03	O sector de manutenção consegue atenuar as condições adversas do ambiente de trabalho, como sejam excesso o ruído, a falta de iluminação ,a poeira, etc.?	
04	As tarefas de manutenção são concluídas?	

05	As tarefas de manutenção são orientadas por instruções e/ou procedimentos de trabalho?	
06	Existe supervisão das tarefas realizadas?	
07	Existem planos de acção de emergência para os equipamentos mais críticos?	
5 – SEMPRE 4 – FREQUENTEMENTE 3 – POR VEZES 2 – RARAMENTE 1 – NUNCA		

	Grupo B – Tecnologia e equipamento	1-2-3-4
01	Existem boas condições de acesso que facilitam a realização das tarefas de manutenção?	
02	Existem equipamentos ou ferramentas modernos e bem mantidos que facilitam realização das tarefas de manutenção?	
03	Existem equipamentos de protecção individual (EPI) disponíveis e adequados às condições dos trabalhos de manutenção?	
04	Considera que os equipamentos de protecção individual (EPI) disponíveis na empresa são confortáveis?	
05	Encontram-se instaladas barreiras de protecção nos equipamentos instalados?	
06	Existem ferramentas e equipamentos disponíveis e suficientes para as tarefas de manutenção?	
5 – SEMPRE 4 – FREQUENTEMENTE 3 – POR VEZES 2 – RARAMENTE 1 – NUNCA		

	Grupo C – Formação, comunicação e motivação	S / N
01	Sente que há problemas de comunicação entre colegas no sector da manutenção?	
02	Sente que há problemas de estratégia de comunicação entre a produção e a manutenção?	
03	Considera a equipa de manutenção envelhecida?	
04	Considera que desconhece alguns perigos potenciais da actividade de manutenção?	
05a	Considera que existe falta de pessoal na manutenção?	
05b	Considera que existe falta de formação na manutenção?	
06	A pressão exercida pelas chefias é excessiva?	
07	Considera que a manutenção tem falta de reconhecimento?	
S – SIM		N – NÃO

III.3 Formato do questionário final

<u>QUESTIONÁRIO/TAREFAS DE MANUTENÇÃO</u>			
<p>Por favor, utilize a sua experiência para atribuir classificação a <u>TODAS</u> as questões a seguir apresentadas. A avaliação recai exclusivamente sob as tarefas de manutenção na <u>EXTRACÇÃO 1</u>.</p> <p>Muito obrigado pela sua colaboração.</p>			
	Preparação	Extracção por solvente	Granulação
Nível de ruído ou vibração			
Iluminação			
Temperatura ambiente extrema (Inverno e Verão)			
Presença de fumos e poeiras			
Presença de alta voltagem e radiações			
Nível de limpeza das instalações			
Acessibilidades dos equipamentos			
1 – MUITO ELEVADO 2 – ELEVADO 3 – SATISFATÓRIO 4 – BAIXO 5 – NULO			

5 – SEMPRE 4 – FREQUENTEMENTE 3 – POR VEZES 2 – RARAMENTE 1 – NUNCA	
As suas tarefas não são correctamente atribuídas?	
Sente falta de apoio nas suas tarefas quando trabalha em equipa?	
Prefere realizar as tarefas individualmente ou em equipa?	
Realiza várias tarefas em simultâneo ou com pouco tempo?	
As suas tarefas são repetitivas?	
Realiza tarefas em horário de trabalho irregular?	
Realiza tarefas de manutenção durante a noite?	
Sente que não está familiarizado com os equipamentos onde realiza as tarefas de manutenção?	
Realiza tarefas de manutenção em equipamentos que considera perigosos?	
Existem procedimentos correctos de manutenção para os equipamentos instalados?	
Os valores lidos nos manómetros, termómetros...(ou outros instrumentos) são correctos?	

<i>A comunicação em equipa é simples e objectiva?</i>	
<i>Não é tolerante com comportamentos de risco?</i>	
<i>Possui ferramentas adequadas e suficientes para a realização das tarefas?</i>	
<i>Não trabalha em equipamentos de manutenção difícil?</i>	
<i>Tem dificuldade em detectar as causas da maioria das avarias?</i>	
<i>Engana-se nas medições realizadas ou na observação de determinados parâmetros?</i>	
<i>Sente que define incorrectamente a sequência dos trabalhos numa intervenção?</i>	
<i>Age em modo automático na realização das tarefas mais simples?</i>	
<i>Ocorrem-lhe «brancas» de informação?</i>	
<i>Sente medo de falhar e de perder o emprego?</i>	
<i>Desvia a sua atenção para outra coisa que acontece perto de si?</i>	
<i>Tem dificuldade em reparar num sinal que surja no equipamento onde intervém?</i>	
<i>Sente-se facilmente cansado?</i>	
<i>Nota falta de precisão ou descoordenação de movimentos?</i>	
<i>Ultimamente tem-se sentido dores recorrentes?</i>	
<i>Tem problemas familiares ou pessoais?</i>	
<i>Está familiarizado com os locais onde realiza as tarefas de manutenção?</i>	
<i>As tarefas de manutenção são bem planeadas ou preparadas?</i>	
<i>O sector da manutenção consegue atenuar as condições adversas do ambiente de trabalho como sejam o excesso de ruído, a falta iluminação, a poeira, etc.?</i>	
<i>As tarefas de manutenção são concluídas?</i>	
<i>As tarefas de manutenção são orientadas por instruções e/ou procedimentos de trabalho?</i>	
<i>Existe supervisão das tarefas realizadas?</i>	
<i>Existem planos de acção de emergência para os equipamentos mais críticos?</i>	
<i>Existem boas condições de acesso que facilitam a realização das tarefas de manutenção?</i>	
<i>Existem equipamentos ou ferramentas modernos e bem mantidos que facilitam a realização das tarefas de manutenção?</i>	
<i>Existem equipamentos de protecção individual (EPI) disponíveis e adequados às condições dos trabalhos de manutenção?</i>	
<i>Considera que os equipamentos de protecção individual (EPI), disponíveis na empresa são confortáveis?</i>	
<i>Encontram-se instaladas barreiras de protecção nos equipamentos?</i>	

<i>Existem ferramentas e equipamentos disponíveis e suficientes para as tarefas de manutenção?</i>	
--	--

<i>S – SIM</i>	<i>N – NÃO</i>	
		<i>S/N</i>
<i>Apresenta surdez, dificuldades visuais, daltonismo, dislexia, claustrofobia, doença crónica ou qualquer deficiência física?</i>		
<i>Considera-se uma pessoa nervosa?</i>		
<i>Considera-se uma pessoa teimosa?</i>		
<i>Considera-se uma pessoa agressiva?</i>		
<i>Considera-se uma pessoa com excesso de confiança?</i>		
<i>Tem facilidade em analisar a sua personalidade?</i>		
<i>Sente que há problemas de comunicação entre colegas no sector da manutenção?</i>		
<i>Sente que há problemas de estratégia de comunicação entre a produção e a manutenção?</i>		
<i>Considera a equipa da manutenção envelhecida?</i>		
<i>Considera que conhece todos os perigos potenciais da actividade da manutenção?</i>		
<i>Considera que existe falta de pessoal na manutenção?</i>		
<i>Considera que existe falta de formação na manutenção?</i>		
<i>A pressão exercida pelas chefias é excessiva?</i>		
<i>Considera que a manutenção tem falta de reconhecimento?</i>		